

Evaluation de la qualité de l'air dans le futur Grand Parc Garonne au niveau de l'île du Ramier

Rapport annuel 2020

ETU-2021-086 - Edition Août 2021

www.atmo-occitanie.org

contact@atmo-occitanie.org

09 69 36 89 53 (Numéro CRISTAL – Appel non surtaxé)



CONDITIONS DE DIFFUSION

Atmo Occitanie, est une association de type loi 1901 agréée (décret 98-361 du 6 mai 1998) pour assurer la surveillance de la qualité de l'air sur le territoire de la région Occitanie. Atmo Occitanie est adhérent de la Fédération Atmo France.

Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'État français et de l'article L.220-1 du Code de l'environnement. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de l'article L.220-2 du Code de l'Environnement.

Atmo Occitanie met à disposition les informations issues de ses différentes études et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux. À ce titre, les rapports d'études sont librement accessibles sur le site :

www.atmo-occitanie.org

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Atmo Occitanie.

Toute utilisation partielle ou totale de données ou d'un document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit obligatoirement faire référence à **Atmo Occitanie**.

Les données ne sont pas systématiquement rediffusées lors d'actualisations ultérieures à la date initiale de diffusion.

Par ailleurs, **Atmo Occitanie** n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec **Atmo Occitanie** par mail :

contact@atmo-occitanie.org

SOMMAIRE

SYNTHÈSE	1
1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	2
1.1. CONTEXTE	2
1.2. OBJECTIFS.....	2
2. LE DIOXYDE D'AZOTE	4
2.1. RESPECT DE L'ENSEMBLE DES VALEURS REGLEMENTAIRES	4
2.2. COMPARAISON ENTRE LES DEUX SAISONS DE MESURES	6
2.3. SITUATION SIMILAIRE AU FOND URBAIN TOULOUSAIN	6
2.4. CARTOGRAPHIE DE LA POLLUTION AU NO ₂ SUR L'ÎLE DU RAMIER	8
3. LES PARTICULES	9
3.1. PARTICULES EN SUSPENSION (PM ₁₀) : RESPECT DE LA REGLEMENTATION.....	9
3.2. PARTICULES FINES (PM _{2.5}) : RESPECT DE LA REGLEMENTATION	12
4. LE BENZENE	14
5. L'OZONE	15
5.1. DES CONCENTRATIONS LEGEREMENT PLUS ELEVEES SUR L'ILE DU RAMIER.....	15
5.2. SITUATION DEGRADEE POUR LA POLLUTION A L'OZONE.....	17
TABLE DES ANNEXES	18

SYNTHÈSE

Dioxyde d'azote

39 sites échantillonnés sur l'ensemble de l'île du Ramier en été 2020 et hiver 2021.
Installation d'une station mobile de mesures sur le parking de l'ancien Parc des expos.

- **Respect des valeurs limites sur l'ensemble des sites en été comme en hiver.**
- **Respect des valeurs limites pour les mesures effectuées par la station mobile pour les deux périodes.**
- **Dépassement possible des seuils aux abords immédiats du périphérique.**
- **Situation similaire au fond urbain toulousain.**

Particules fines

Mesures par la station mobile en été 2020 et hiver 2021.

- **Respect de l'objectif de qualité et des valeurs limites en particules fines de moins de 10 micromètre (PM₁₀) tout au long des deux périodes de mesures.**
- **Respect de l'objectif de qualité, de la valeur cible et de la valeur limite en particules fines de moins de 2,5 micromètre (PM_{2.5}) tout au long des deux périodes de mesures.**
- **Situation similaire au fond urbain toulousain.**

Benzène

2 sites échantillonnés sur l'île du Ramier en été 2020 et hiver 2021.

- **Respect de l'objectif de qualité et de la valeur cible en été, pas de résultat en hiver.**
- **Situation similaire au fond urbain toulousain.**

Ozone

Mesures par la station mobile en été 2020 et hiver 2021.

- **Objectif de qualité non respecté comme sur le reste de la région Occitanie.**
- **Respect probable de la valeur cible pour la protection de la santé humaine.**
- **Situation similaire au fond urbain toulousain.**

1. Contexte et objectifs

1.1. Contexte

La transformation de l'île du Ramier en parc urbain est l'un des trois volets du projet Grand Parc Garonne dont l'objectif est de reconquérir les bords du fleuve. Après une première série de travaux menée dans le nord de l'île entre 2017 et 2019, le lancement en septembre 2020 de la déconstruction du Parc des expositions entérine une nouvelle étape de ce programme.

Le réaménagement de l'île du Ramier va s'attacher à restaurer la biodiversité en dé-bitumant et re-naturant une superficie de près de 10 hectares. Cette ambition portée par Toulouse Métropole, remarquée au niveau international, a valu au projet d'être sélectionné par la Commission Européenne dans le cadre du programme LIFE pour l'environnement et le climat. Le projet LIFE Green Heart (Generate REsiliENT actions against the HEat isLAnd effect on uRban Territories) vise la création d'un poumon vert sur l'île du Ramier, dans le cadre du Grand Parc Garonne.

La mesure simultanée par les services de Toulouse Métropole de la biodiversité, des températures, des pollutions atmosphériques et sonores, ainsi que des perceptions sociales permettront un suivi précis des effets de cette renaturation durant toute la durée du projet, jusqu'en 2025.

C'est dans ce cadre que vient s'inscrire l'étude réalisée par Atmo Occitanie.

1.2. Objectifs

Dans l'optique de réaliser un état des lieux de la qualité de l'air sur ce secteur, qui sera requalifié dans les années à venir, Atmo Occitanie a réalisé les actions suivantes :

- **Une campagne de mesure multi site par échantillonneurs passifs**, positionnés pour l'essentiel sur le périmètre nord de l'île. Environ 40 sites font l'objet d'une quantification des concentrations en dioxyde d'azote (NO₂) parmi lesquels deux sont complétés par des mesures de benzène (les différents polluants sont décrits en annexe 2). Ces niveaux de concentration sont mis en perspective de la situation moyenne sur une année et permettront de compléter la connaissance sur la dispersion dans l'air de ce polluant issu principalement des axes de circulation environnants. Pour chaque campagne, estivale et hivernale, les mesures se déroulent sur 4 semaines consécutives.
- **Une campagne de mesure en continu des principaux polluants** réglementés en air ambiant : l'ozone, le dioxyde d'azote et des particules en suspension PM₁₀ et PM_{2.5}. Les mesures continues se sont déroulées pendant 2 mois, en parallèle des campagnes de mesures par tubes passifs : 1 mois en période hivernale et 1 mois en période estivale. Les niveaux de concentration ont été mis en perspective de la situation moyenne sur une année et ont permis de compléter la connaissance sur la dispersion dans l'air de ce polluant.
- **Des cartographies de la pollution de l'air à l'échelle de la rue** ont été réalisées, afin d'identifier d'éventuelles zones à enjeu, et celles préservées. Une comparaison a également été faite avec les mesures issues des stations fixes de fond urbain implantées à proximité dans les quartiers Papus (station Jacquier) et Saint-Michel (station Berthelot). Ces stations étant représentatives du niveau de fond urbain toulousain.

Les productions qui accompagnent cette évaluation et qui pourront alimenter les documents de planification de la collectivité sont les suivantes :

- Une cartographie des 40 sites de mesures du dioxyde d'azote NO₂, permettant de visualiser les niveaux de concentrations mesurés en différents points du périmètre étudié.
- Des cartographies de concentration réalisées par modélisation pour les PM₁₀, PM_{2,5} et NO₂ afin d'observer à l'échelle de la rue la diffusion des polluants.

2. Le dioxyde d'azote

- **Respect des valeurs limites sur l'ensemble des mesures**
- **Situation similaire au fond urbain toulousain, influence limitée du trafic**
- **De possibles dépassements sont modélisés aux abords immédiats de l'axe périphérique sud.**



2.1. Respect de l'ensemble des valeurs réglementaires

Le dioxyde d'azote (NO₂) est un polluant gazeux principalement émis par le trafic routier et les activités industrielles. Sa concentration chute rapidement dès que l'on s'éloigne de la source d'émission.

Le dispositif déployé par Atmo Occitanie sur l'Île du Ramier pour la surveillance du NO₂ est détaillé en annexe 1. Deux campagnes de mesures ont été réalisées : la première durant l'été 2020, la seconde au cours de l'hiver 202. Le tableau suivant résume la situation réglementaire de la zone d'étude.

Dioxyde d'azote					
NO ₂		Valeurs réglementaires	Moyenne sur l'année	Respect de la réglementation	Comparaison avec le fond urbain
Exposition de longue durée	Valeurs limite	40 µg/m ³ en moyenne annuelle	Entre 10 et 22 µg/m ³	Oui	Égal
	Valeurs limite	200 µg/m ³ en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18h/an	0 heure sur la campagne	Oui	Égal

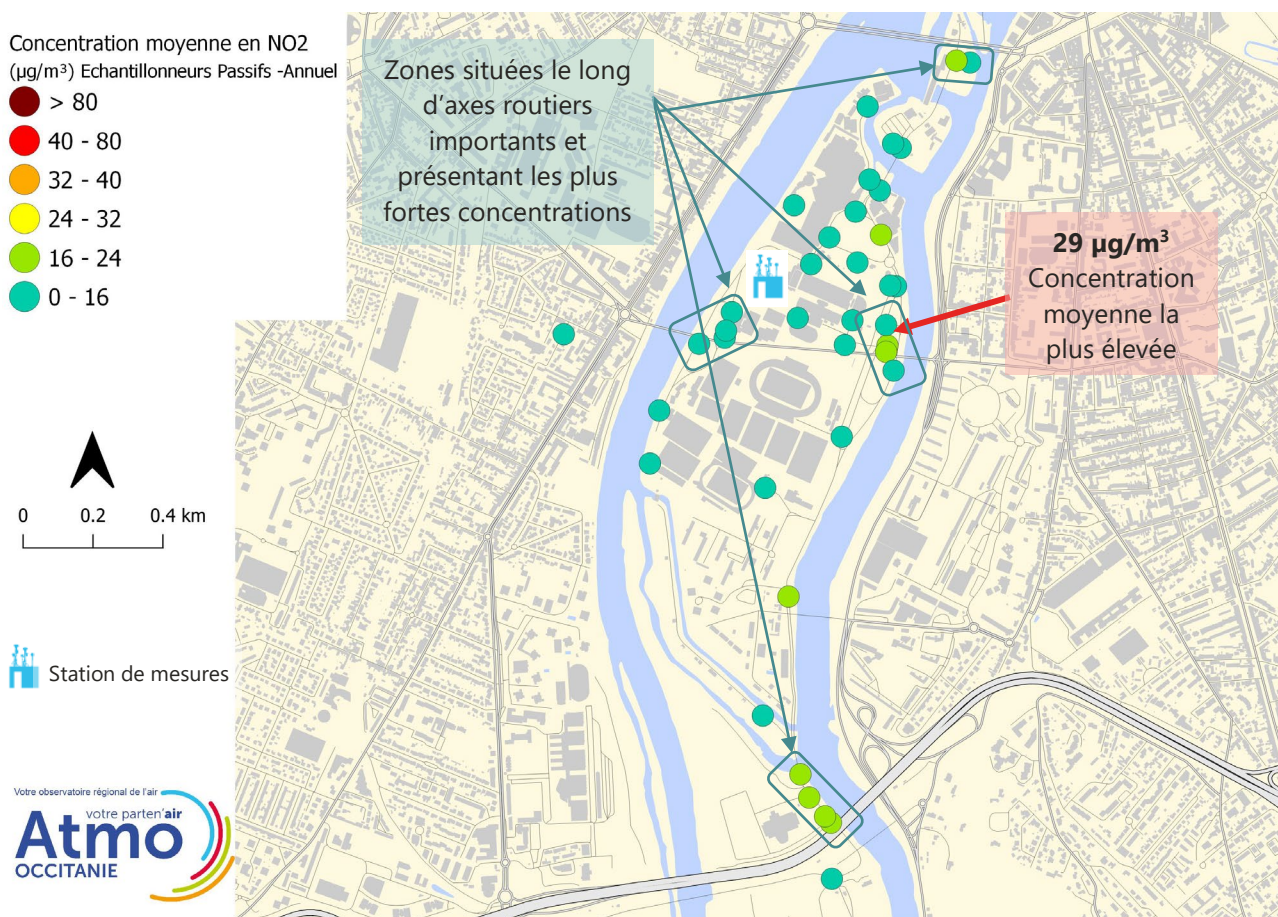
2.1.1. Exposition de longue durée, respect des seuils réglementaires sur l'ensemble des sites de mesures

La réglementation européenne donne une valeur limite à ne pas dépasser pour la protection de la santé humaine. Cette valeur est fixée à 40 microgrammes par mètre-cube (µg/m³) en moyenne annuelle.

- La station a mesuré une moyenne de 11 µg/m³ sur les deux campagnes de mesures. La moyenne est inférieure à 9 µg/m³ en été, et elle est de 13 µg/m³ en hiver. Sur la base des données des autres stations de l'Agglomération, la moyenne annuelle extrapolée de la station mobile devrait s'établir à **12 µg/m³** soit une valeur comparable à la moyenne des deux campagnes.
- L'évaluation multi-sites effectuée avec les échantillonneurs passifs donnent une moyenne de 14 µg/m³ sur les deux campagnes de mesures. La moyenne est de 11 µg/m³ en été, de 17 µg/m³ en hiver, tendance

saisonniers qui se retrouvent sur la mesure en continu de la station mobile. Une adaptation statistique (voir annexe 4) nous permet de construire une moyenne annuelle pour l'ensemble de ces sites qui s'établit à $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, les valeurs extrêmes allant de 6 à $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Estimation de la moyenne sur une année (26 février 2020 – 25 février 2021)



En utilisant une adaptation statistique décrite dans l'**annexe 4**, nous projetons les valeurs relevées lors des deux saisons de mesures sur une année complète afin d'obtenir une estimation des concentrations moyennes annuelles sur l'ensemble des sites.

Le seuil réglementaire est ainsi respecté en moyenne annuelle pour tous les sites.

Sur l'année, les concentrations les plus élevées sont relevées au sud de la zone d'étude près de l'axe périphérique sud, à l'est de l'île vers le pont Pierre de Coubertin, et sur deux échantillonneurs du secteur « Nord » de l'île au niveau de l'avenue du Grand Ramier et près de l'Institut de mécanique des fluides.

2.1.2. Exposition de courte durée, réglementation respectée

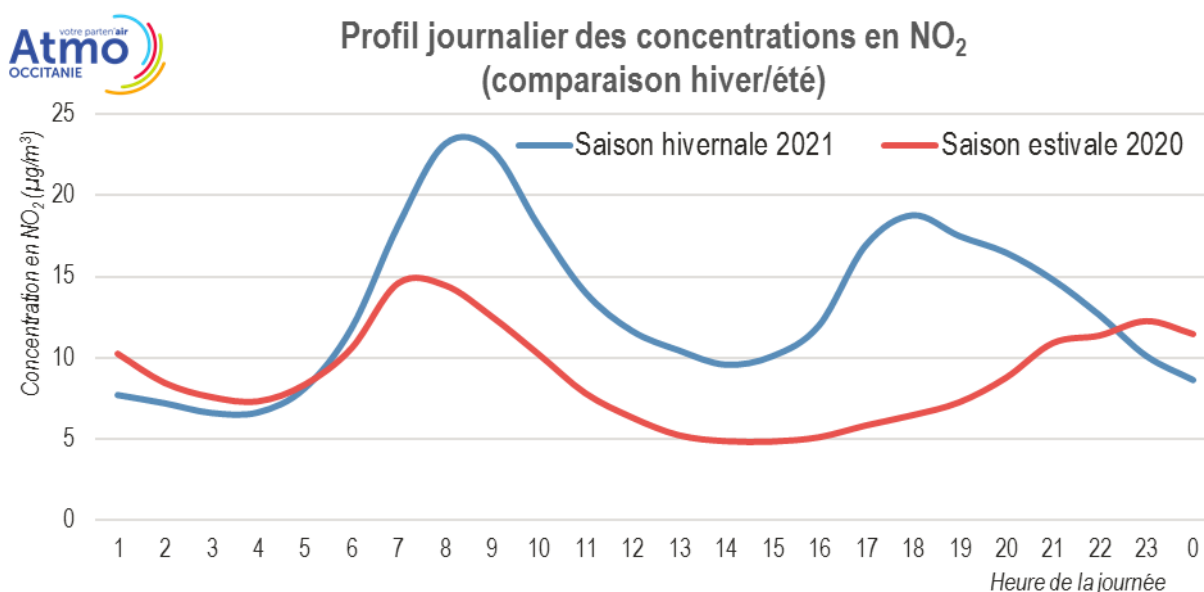
Au cours des deux périodes de mesures, la valeur extrême sur une heure relevée par la station installée sur l'île du Ramier s'est élevée à $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La valeur limite pour la protection de la santé humaine ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 18 heures par an) est respectée sur le site de l'île du Ramier comme sur l'ensemble de l'agglomération toulousaine.

2.2. Comparaison entre les deux saisons de mesures

Lorsque l'on compare les mesures effectuées en juillet-août 2020 avec celles de janvier-février 2021, la période hivernale met en évidence une hausse systématique sur les 38 emplacements qui ont été équipés. La hausse moyenne est de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les minimales et les maximales évoluent de la même façon.

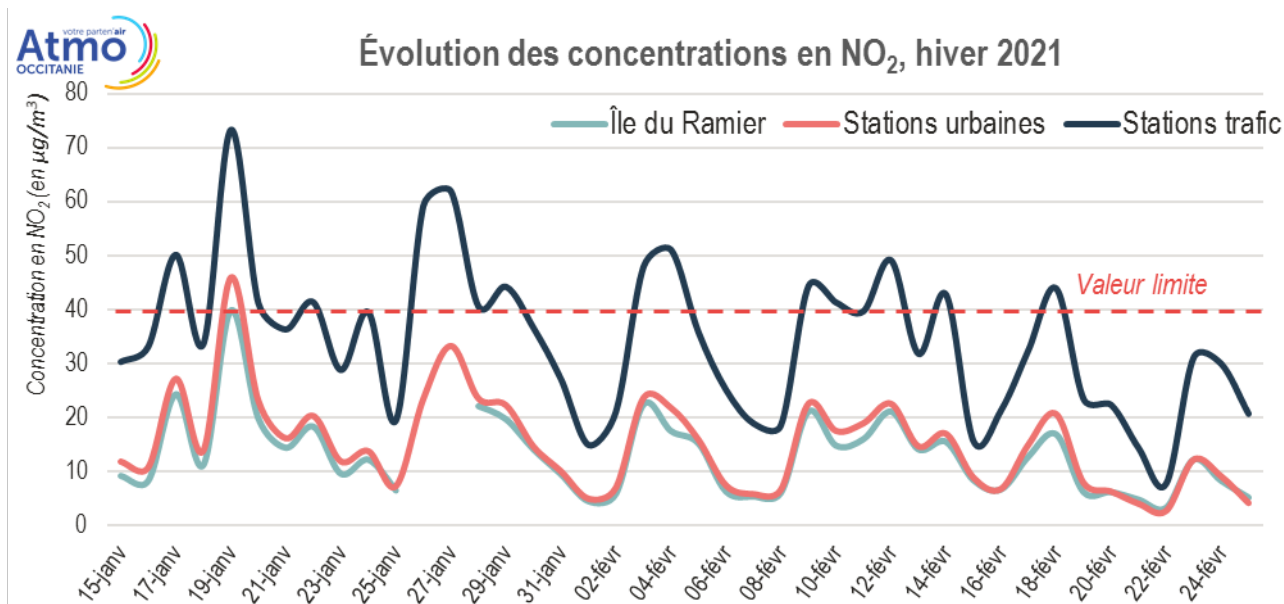
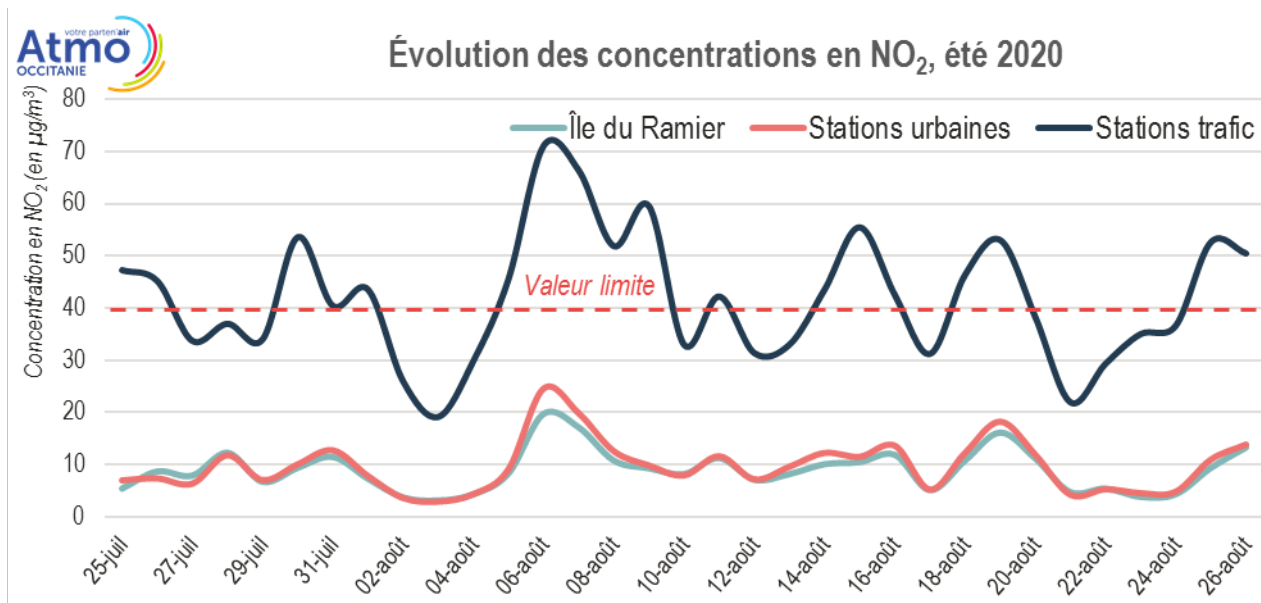
L'observation de l'évolution moyenne des concentrations au cours d'une journée-type (profil journalier) permet de noter des pics marqués aux alentours de 8-9 h (hiver et été) et de 18-19 h (hiver). Il s'agit des heures de pointe lors desquelles se produit une intensification du trafic routier. La station installée sur l'île du Ramier n'est pas à proximité immédiate d'un axe de circulation mais l'influence de la circulation y est visible, tout comme sur les stations de fond urbain du réseau permanent sur l'agglomération toulousaine.



Les concentrations en dioxyde d'azote (NO_2) sont inférieures au cours de la saison estivale, $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de moins en moyenne et $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de moins si l'on ne s'intéresse qu'aux 25 % de valeurs les plus élevées. Pour la période froide, les installations de chauffage employant des combustibles, la hausse du trafic routier et des conditions météorologiques moins favorables à la dispersion du polluant expliquent l'écart constaté.

2.3. Situation similaire au fond urbain toulousain

Les deux graphiques suivants représentent l'évolution de la concentration en dioxyde d'azote mesurée tout au long des deux campagnes de mesures sur l'île du Ramier et en moyenne par les stations situées dans l'agglomération toulousaine en situation de fond (Stations urbaines) ou influencées par le trafic routier (Stations trafic).



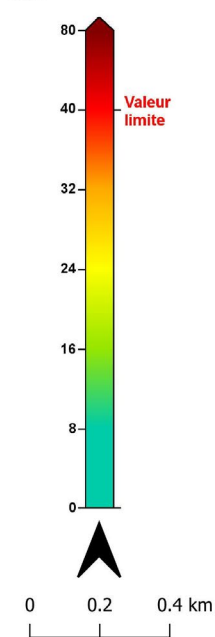
Les concentrations en dioxyde d'azote sur l'Île du Ramier sont du même ordre de grandeur que celles des stations du fond urbain toulousain. La corrélation entre les deux courbes est remarquable quelle que soit la saison.

Ainsi, les concentrations en dioxyde d'azote sur l'île du Ramier sont représentatives des niveaux de fond de l'agglomération.

2.4. Cartographie de la pollution au NO₂ sur l'île du Ramier

Les différentes cartes de modélisation des polluants présentées dans cette étude correspondent à la situation de l'année 2020. Les mesures de restrictions sanitaire consécutives à la pandémie de COVID-19 ont entraîné une réduction de l'activité humaine et donc de l'émission des polluants (trafic routier en baisse, production industrielle réduite...) Afin de prendre en compte cette situation inédite, Atmo Occitanie a été amené à mettre à jour l'inventaire des polluants et à réaliser de nouvelles modélisations. Ces dernières ont permis la production des cartographies de la pollution présentées dans ce rapport.

Situation du NO₂ pour la protection de la santé
(en µg/m³ - Moyenne annuelle)
2020



Zone présentant des dépassements de la valeur limite en NO₂

Nous observons sur cette carte l'impact des grands axes de circulation sur les concentrations relevées en dioxyde d'azote. La portion de l'axe périphérique au sud du domaine d'étude génère ainsi une quantité importante de polluant au Sud de l'île du ramier. À une échelle bien moindre, le prolongement du Boulevard des Récollets sur le pont Pierre de Coubertin ainsi que le Pont Saint-Michel sont les principales sources de NO₂ dans la partie Nord de l'île.

La concentration modélisée atteint les 58 µg/m³ en moyenne annuelle au centre de l'axe, la zone en dépassement des 40 µg/m³ forme un ruban d'environ 50 mètres de large de part et d'autres de l'axe routier. L'influence directe de la pollution émise sur l'axe périphérique (au sud du domaine d'étude) s'estompent au-delà de 150 mètres. Après cette distance, les concentrations sont celles du niveau du fond urbain.

3. Les particules

- **Respect de l'objectif de qualité et des valeurs limites pour les particules en suspension PM₁₀**
- **Respect de l'objectif de qualité, de la valeur cible et de la valeur limite pour les particules fines PM_{2.5}**
- **Situation similaire au fond urbain toulousain**



Deux tailles de particules ont été ciblées par cette étude : les particules en suspension inférieures à 10 micromètres (PM₁₀) et celles, les particules fines, inférieures à 2,5 micromètres (PM_{2.5}).

3.1. Particules en suspension (PM₁₀) : respect de la réglementation

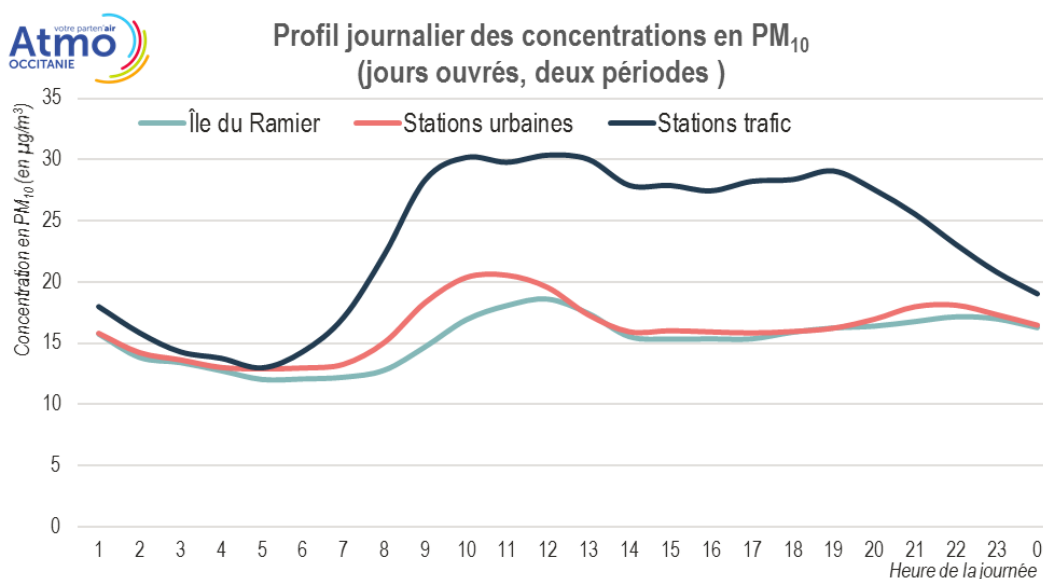
PARTICULES DE DIAMETRE INFERIEUR À 10 µm					
PM10	Valeurs réglementaires	Moyenne sur l'année	Respect de la réglementation	Comparaison avec le fond urbain	
Exposition de longue durée	Objectif de qualité	30 µg/m ³ en moyenne annuelle	14 µg/m ³	Oui	Inférieur
	Valeurs limite	40 µg/m ³ en moyenne annuelle	14 µg/m ³	Oui	Inférieur
		50 µg/m ³ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours/an	0 jours sur la campagne	Probable	Égal

Le tableau suivant résume la situation réglementaire sur la zone d'étude.

- Au cours de la campagne d'été (juillet-août 2020), la station a mesuré une concentration moyenne de **14 µg/m³**.
- Pour la campagne hiver (janvier-février 2021), la moyenne s'est élevée à **16 µg/m³**. En période hivernale, plus froide, les concentrations peuvent être plus prononcées du fait de la contribution des émissions induites par l'utilisation des dispositifs de chauffage, particuliers ou collectifs, notamment au bois (chaudière, cheminée, poêle).
- La concentration sur la moyenne des deux périodes est mesurée à **15 µg/m³**. Les valeurs extrêmes sur une heure sont comprises entre 0 et 79 µg/m³.
- La moyenne sur 24 heures a atteint une valeur maximale de 44 µg/m³.

Au regard de la situation mesurée durant 21% de l'année et des suivis en continu disponibles sur les autres stations de l'agglomération, **l'ensemble des valeurs réglementaires est ainsi respecté.**

3.1.1. Mise en perspective avec le fond urbain et influence de la période de mesures

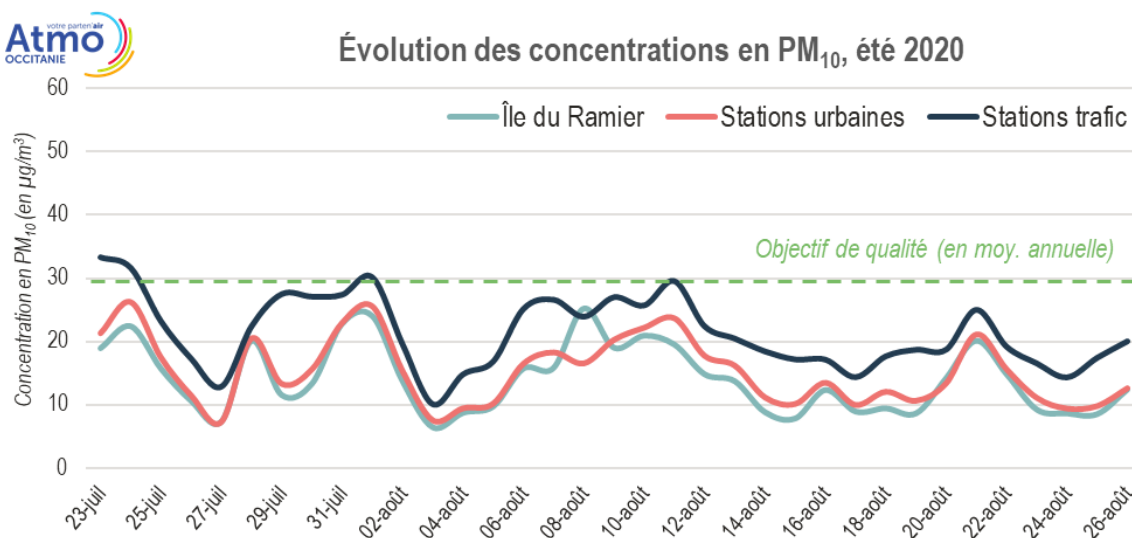


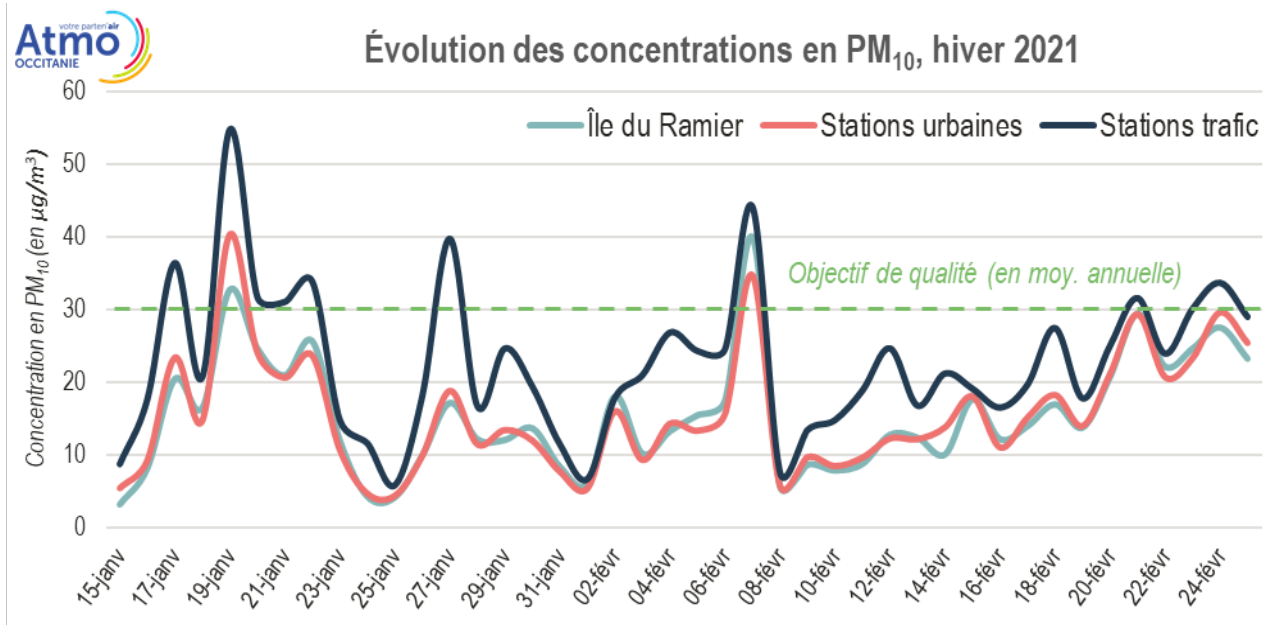
La représentation de l'évolution moyenne des concentrations au cours des jours ouvrés (profil journalier) met en évidence que le profil des deux saisons étudiées a une allure proche du profil du NO₂ avec des pics aux heures de pointe toutefois moins marqués. Cette situation s'explique par la contribution de deux principaux secteurs d'activités aux émissions de particules PM₁₀ dans l'air.

En effet, les sources de particules PM₁₀ sont diverses : naturelles ou anthropiques. Dans l'agglomération Toulouse Métropole, le trafic est le deuxième secteur le plus émetteur de particules PM₁₀ après le secteur résidentiel, au travers des dispositifs de chauffage. Les stations disposées à proximité immédiate d'un axe de circulation d'importance relèvent ainsi des niveaux nettement supérieurs au fond urbain.

Sur l'Île du Ramier, les concentrations mesurées sont en moyenne légèrement inférieures à celles obtenues pour le fond urbain toulousain.

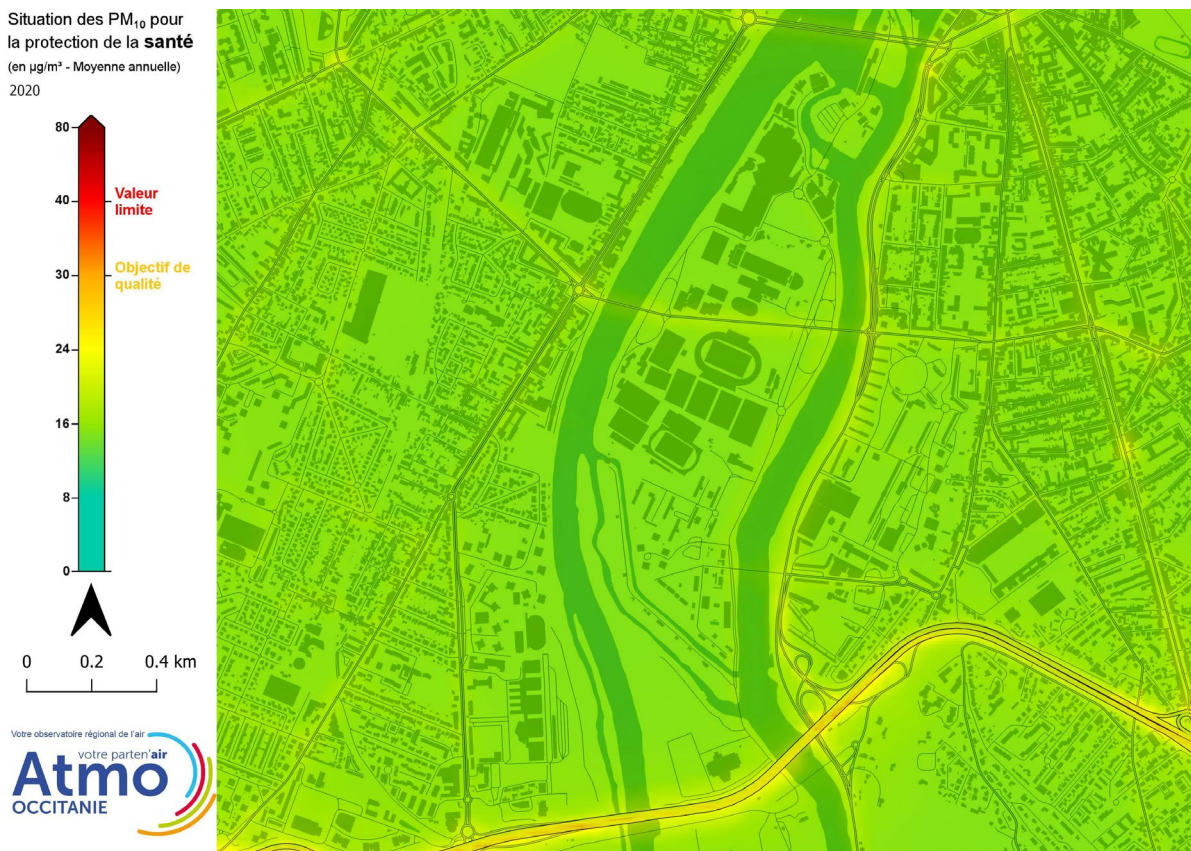
L'évolution comparée des concentrations tout au long des deux périodes étudiées apporte les mêmes enseignements :





Les mesures relevées sur l'île du Ramier sont en corrélation parfaite avec le fond urbain toulousain sur les deux périodes. Notons ici aussi que les concentrations sont plus élevées lors de la période hivernale.

3.1.2. Cartographie de la pollution aux particules PM₁₀



Le tronçon de l'axe périphérique sud traversant le Sud de l'île du Ramier est comme pour le NO₂, l'axe le plus émetteur du domaine d'étude en particules PM₁₀. Les valeurs maximales modélisées sur cet axe sont de 26 µg/m³. Aucun dépassement de la valeur limite et de l'objectif de qualité, définis en moyenne annuelle, n'est observé sur les cartographies de concentrations dans le périmètre d'étude. L'axe routier situé sur le

pont Pierre de Coubertin met en évidence des concentrations sensiblement supérieures au fond urbain de l'agglomération avec des concentrations modélisées maximales de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contre $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en fond urbain. Ces concentrations restent largement inférieures à l'objectif de qualité fixé en moyenne annuelle ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

3.2. Particules fines (PM_{2.5}) : respect de la réglementation

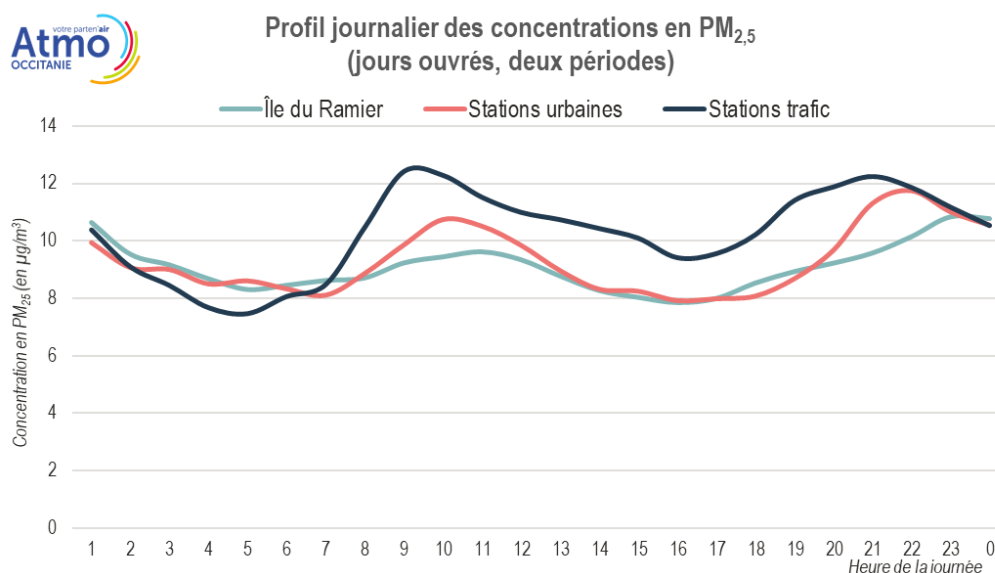
PARTICULES DE DIAMETRE INFERIEUR À 2,5 μm					
PM _{2.5}		Valeurs réglementaires	Moyenne sur l'année	Respect de la réglementation	Comparaison avec le fond urbain
Exposition de longue durée	Objectif de qualité	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle	9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Probable	Égal
	Valeur cible	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle	9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Oui	Égal
	Valeurs limite	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle	9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Oui	Égal

Le tableau suivant résume la situation réglementaire sur la zone d'étude.

- Au cours de la campagne d'été (juillet-août 2020), la station a mesuré une concentration moyenne de **$8 \mu\text{g}/\text{m}^3$** .
- Pour la campagne hiver (janvier-février 2021), la moyenne s'est élevée à **$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$** . En période hivernale les concentrations peuvent être plus prononcées pour des raisons similaires à celles évoquées pour les PM₁₀.
- La concentration sur la moyenne des deux périodes est mesurée à **$9 \mu\text{g}/\text{m}^3$** . Les valeurs extrêmes sur une heure sont comprises entre 0 et $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Une adaptation statistique des mesures faites sur 23% de l'année nous permet d'estimer une moyenne annuelle corrigée de **$9 \mu\text{g}/\text{m}^3$** soit une valeur identique à celle de la moyenne des deux saisons. **L'objectif de qualité est respecté**, tout comme la valeur cible et la valeur limite.

3.2.1. Mise en perspective avec le fond urbain

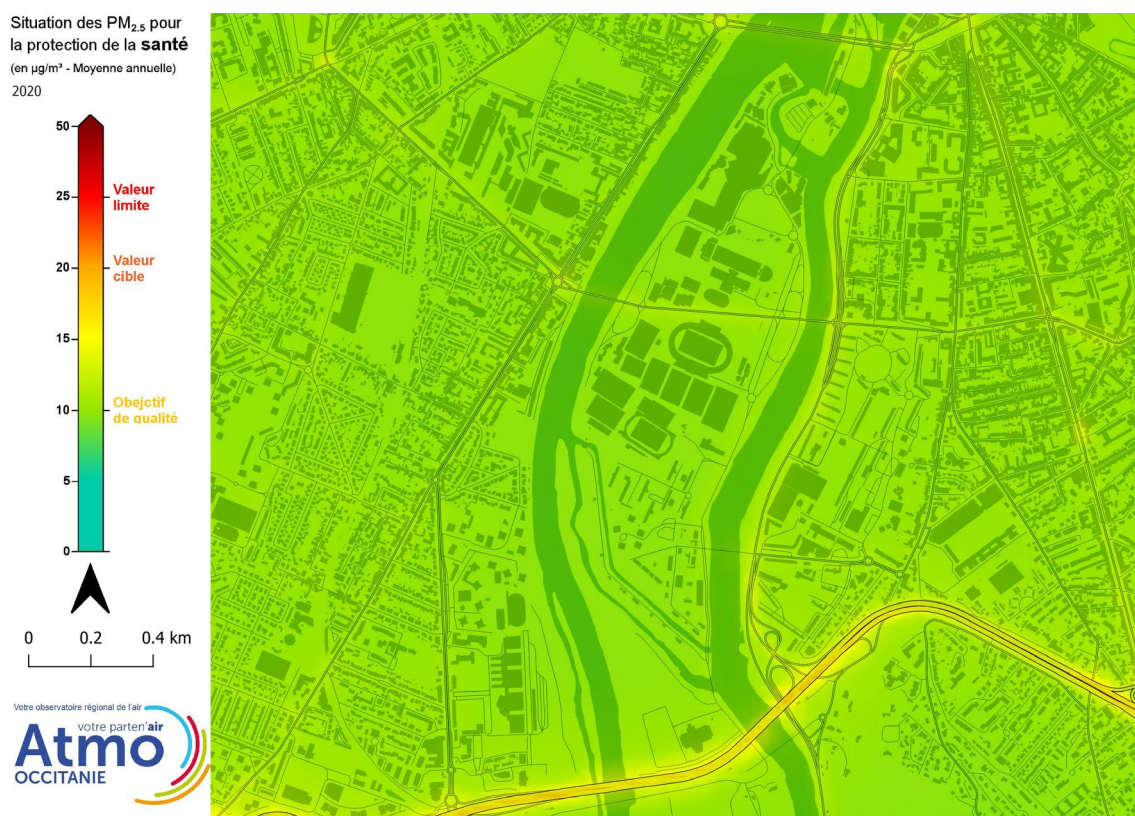


Comme pour les particules PM_{10} , la représentation de l'évolution moyenne des concentrations au cours des jours ouvrés (profil journalier) met en évidence que le profil des deux saisons étudiées a une allure proche du profil du NO_2 avec des pics aux heures de pointe toutefois moins marqués. Cette situation s'explique par la contribution de deux principaux secteurs d'activités aux émissions de particules fines $PM_{2.5}$ dans l'air ambiant.

En effet, les sources de particules $PM_{2.5}$ sont diverses : naturelles ou anthropiques. Dans l'agglomération Toulouse Métropole, le trafic est le deuxième secteur le plus émetteur de particules $PM_{2.5}$ après le secteur résidentiel, au travers des dispositifs de chauffage. Les stations disposées à proximité immédiate d'un axe de circulation d'importance relèvent ainsi des niveaux nettement supérieurs au fond urbain.

Sur l'Île du Ramier, les concentrations mesurées sont en moyenne légèrement inférieures à celles obtenues pour le fond urbain toulousain.

3.2.2. Cartographie de la pollution aux particules $PM_{2.5}$



Le tronçon du périphérique au Sud de l'Île du Ramier est la principale source locale de pollution aux particules $PM_{2.5}$. Aucun dépassement de la valeur limite définie en moyenne annuelle n'est observé sur la cartographie des concentrations dans le périmètre d'étude. L'axe routier situé sur le pont Pierre de Coubertin met en évidence des concentrations à peine supérieures au fond urbain de l'agglomération (dont celui de la station mobile) avec des concentrations modélisées maximales de $11 \mu g/m^3$ contre $10 \mu g/m^3$ en fond urbain. Ces concentrations égalent ou dépassent l'objectif de qualité fixé en moyenne annuelle.

À proximité de l'axe périphérique, les concentrations à proximité du trafic dépassent l'objectif de qualité ($10 \mu g/m^3$) fixé en moyenne annuelle sur une largeur d'environ 250 m de part et d'autre de l'axe routier. La valeur limite et la valeur cible sont en revanche respectées à proximité du périphérique avec une valeur modélisée maximale de $17 \mu g/m^3$.

4. Le benzène

- **Respect de l'objectif de qualité et de la valeur limite sur le site**
- **Situation similaire aux trois autres sites surveillés dans l'agglomération toulousaine**

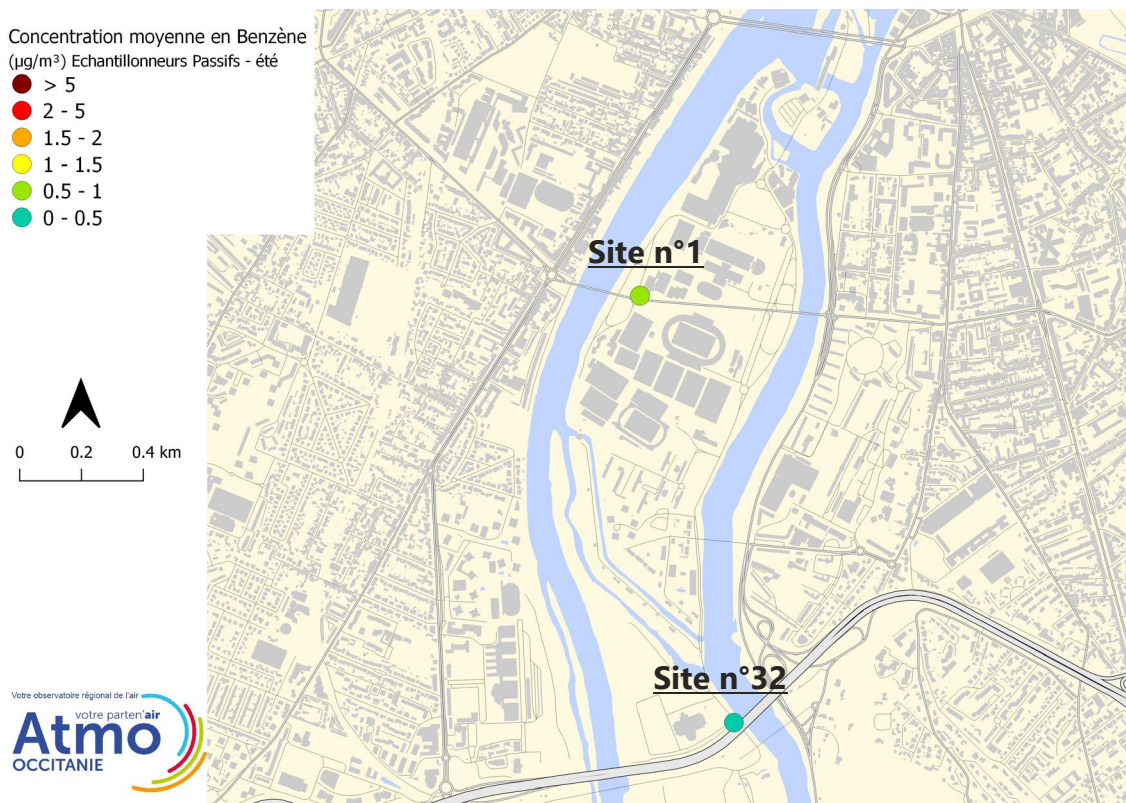


Deux emplacements situés aux abords d'axes routiers traversant le site étudié ont été équipés d'échantillonneurs passifs permettant la mesure du benzène. Les sources de ce composé organique sont multiples mais le transport routier est le principal émetteur sur le territoire de Toulouse Métropole. Ces échantillonneurs ont été déployés lors des deux campagnes mais au cours de l'hiver 2021 les deux tubes ont été dérobés. Suite à ce vandalisme, Atmo Occitanie ne peut présenter que les résultats concernant la période estivale.

Les valeurs réglementaires à respecter sont données en moyenne annuelle. Les mesures dont nous disposons dans cette étude pour évaluer la pollution au benzène couvrent moins de 8 % d'une année civile. Ces résultats peuvent fournir une indication mais demandent à être complétés si l'on souhaite s'assurer du respect des normes en vigueur.


Les tubes ont été déposés entre le 23 juillet 2020 et le 20 août 2020, les concentrations obtenues sont :

- **0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le site 1**
- **0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le site 32**




Trois autres sites de l'agglomération toulousaine font par ailleurs l'objet d'une surveillance concernant la pollution au benzène. Sur la période de notre étude ces sites ont mesuré des valeurs légèrement supérieures à celles constatées sur l'île du Ramier mais bien inférieures (moyenne de $0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) aux seuils des valeurs réglementaires. Pour l'ensemble de l'année 2020 ces sites ont respecté l'objectif de qualité et la valeur cible, **il est ainsi probable que les concentrations sur l'île du Ramier soient également en deçà des seuils réglementaires.**

Le tableau suivant offre une synthèse de la pollution au benzène sur l'île du Ramier :

Benzène					
		Valeurs réglementaires	Campagne estivale	Respect de la réglementation	Comparaison avec le fond urbain
Exposition de longue durée	Objectif de qualité	$2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle	$0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Oui	Égal
	Valeur limite	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle	$0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Oui	Égal

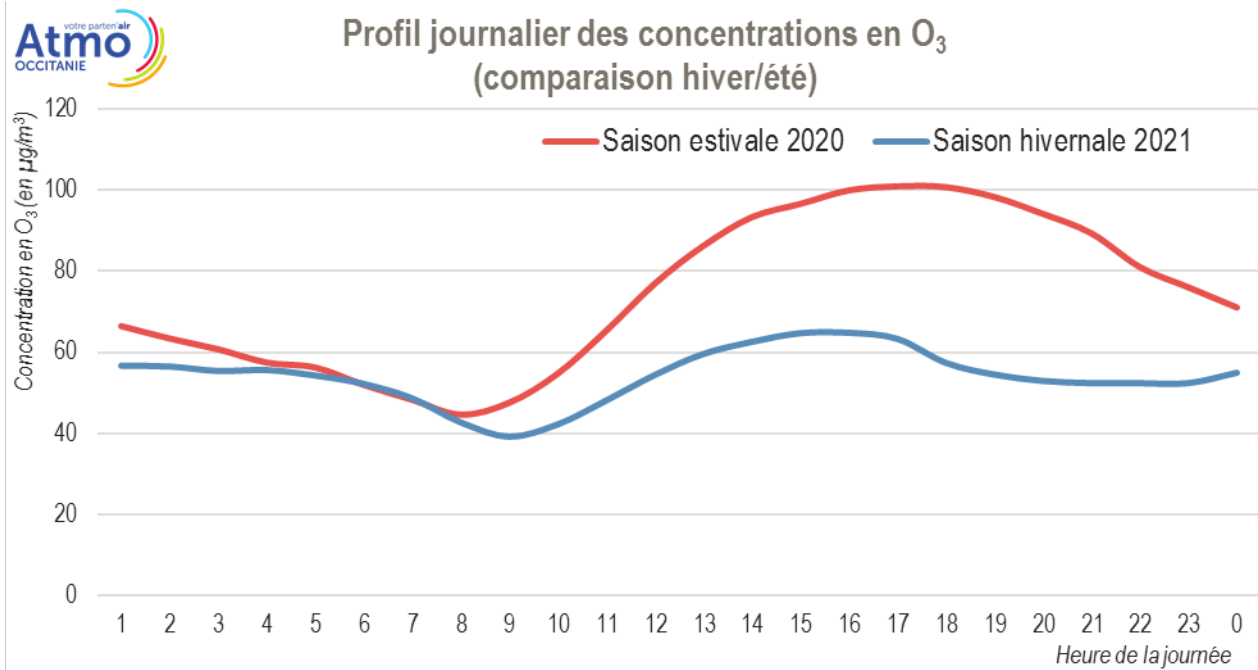
5. L'ozone

Ozone					
		Valeurs réglementaires	Jours en dépassement sur la campagne	Respect de la réglementation	Comparaison avec le fond urbain
Exposition de courte durée	Objectif de qualité	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 8h	5	Non	Égal
	Valeur cible	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 8h à ne pas dépasser plus de 25 jours/an	5	Non	Égal

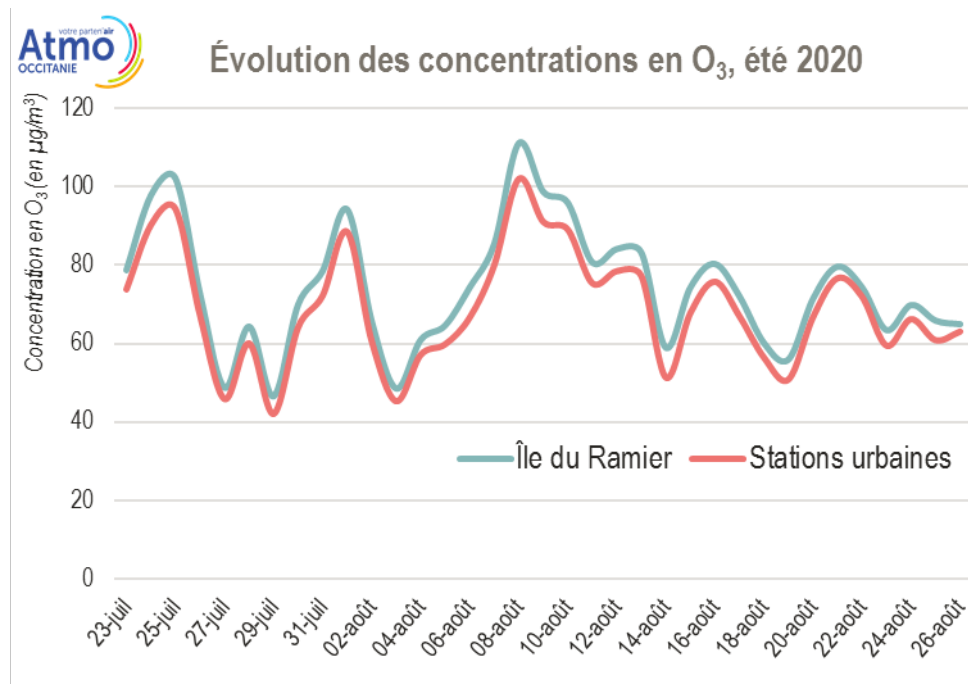
5.1. Des concentrations légèrement plus élevées sur l'île du Ramier

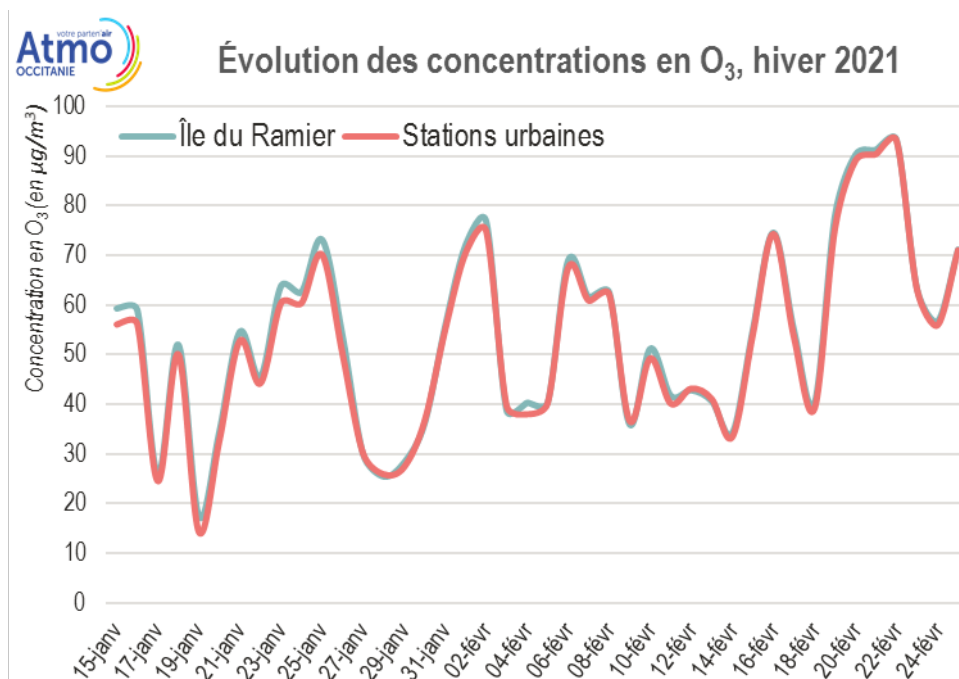
L'ozone est un polluant gazeux qui, à l'inverse des composés étudiés dans les parties précédentes, n'est pas directement émis par l'activité humaine. Polluant dit secondaire, il se forme lors d'une réaction photochimique combinant des oxydes d'azote produits par le transport routier (premier contributeur sur l'agglomération) et des composés organiques volatils (premier contributeur : les activités industrielles suivies du secteur résidentiel). L'ozone peut être transporté sur plusieurs centaines de kilomètres.

La réaction générant l'ozone étant favorisée par les températures élevées et le rayonnement ultraviolet, la saison estivale est ainsi la plus concernée par les niveaux de concentrations les plus élevées. Le graphique suivant permet d'observer cette différence été/hiver :



Les concentrations mesurées sur l'île du Ramier sont légèrement supérieures à celles relevées sur les autres stations mesurant le fond urbain toulousain au cours de la campagne été 2020. Pour la campagne hiver 2021, les courbes ne montrent aucune spécificité locale observée sur l'île du Ramier :





5.2. Situation dégradée pour la pollution à l'ozone

La situation sanitaire inédite de l'année 2020 a limité la présence de polluants précurseurs entraînant des valeurs d'ozone exceptionnellement faibles sur une grande partie de l'Occitanie. **L'objectif de qualité pour la préservation de la santé humaine (120 µg/m³ en moyenne sur 8 heures glissantes) n'est cependant pas respecté, constat partagé** sur l'ensemble de nos stations de mesures de la région. Les dépassements du seuil journalier se sont produits lors de cinq jours consécutifs allant du 5 au 9 août 2020.

L'évaluation de la situation réglementaire pour la valeur cible nécessite un suivi sur l'ensemble de l'année. Le suivi sur l'île du Ramier a permis de couvrir 23% de l'année mais par extrapolation, et à la vue des niveaux comparables avec la situation observée en fond urbain, **la valeur cible est ainsi vraisemblablement respectée dans notre zone d'étude.**

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Dispositifs de mesures et bilan de la campagne de mesures multi-sites

ANNEXE 2 : Généralités sur les polluant étudiés

ANNEXE 3 : Mesures par échantillonneurs passifs

ANNEXE 4 : Notes méthodologiques

ANNEXE 5 : Méthodologie de validation du modèle

ANNEXE 6 : Conditions météorologiques de l'étude

ANNEXE 1 : Dispositifs de mesures et bilan de la campagne de mesures multi-sites

Présentation du dispositif mis en place

Plusieurs dispositifs de mesures sont temporairement installés sur la zone d'étude :

- **Une station mobile** qui mesure les indicateurs les plus pertinents de la qualité de l'air et permet de comparer les niveaux à ceux des stations fixes d'Atmo Occitanie implantées sur l'agglomération toulousaine. Cette station mobile fournit en temps réel une concentration moyenne tous les quarts d'heure.
- **Des échantillonneurs passifs** évaluent la dispersion de certains polluants. Ils fournissent une concentration moyenne sur l'ensemble du temps d'exposition.

À partir des concentrations mesurées, les concentrations annuelles sont estimées selon la méthode d'adaptation statistique des mesures. Les méthodologies d'exploitation des mesures pour la modélisation des émissions et la cartographie des niveaux de pollution, sont décrites en annexe 4.

Les échantillonneurs passifs

Les échantillonneurs passifs ont été installés lors de deux campagnes. La première en période estivale s'est déroulée du 23 juillet au 20 août 2020. La seconde concernait la saison hivernale et a été menée entre le 21 janvier et le 17 février 2021. La campagne de mesure des échantillonneurs a duré 28 jours en été et 27 jours en hiver, couvrant ainsi 15 % d'une année civile. Les concentrations ont ensuite été extrapolées sur la durée d'une année complète (26 janvier 2020 – 25 janvier 2021), selon une méthode d'adaptation statistique de mesures.

Les échantillonneurs passifs permettent d'évaluer la dispersion du dioxyde d'azote NO₂ en situation de fond comme en proximité de sources polluantes. Pour cette étude, le niveau de pollution est évalué sur :

- 36 sites pour le dioxyde d'azote en été et 38 en hiver ont fourni des résultats. Sur les 39 sites échantillonnés initialement, des prélèvements ont été invalidés pour cause de perte ou de chute au sol du capteur.
- 2 sites pour le benzène en été. Les 2 échantillons hivernaux n'ont pu être analysés pour cause de vandalisme (suspecté).

Le plan d'échantillonnage a été réalisé afin d'établir un état des lieux des niveaux de pollution sur l'ensemble de la partie nord de l'Île du Ramier.

La station mobile

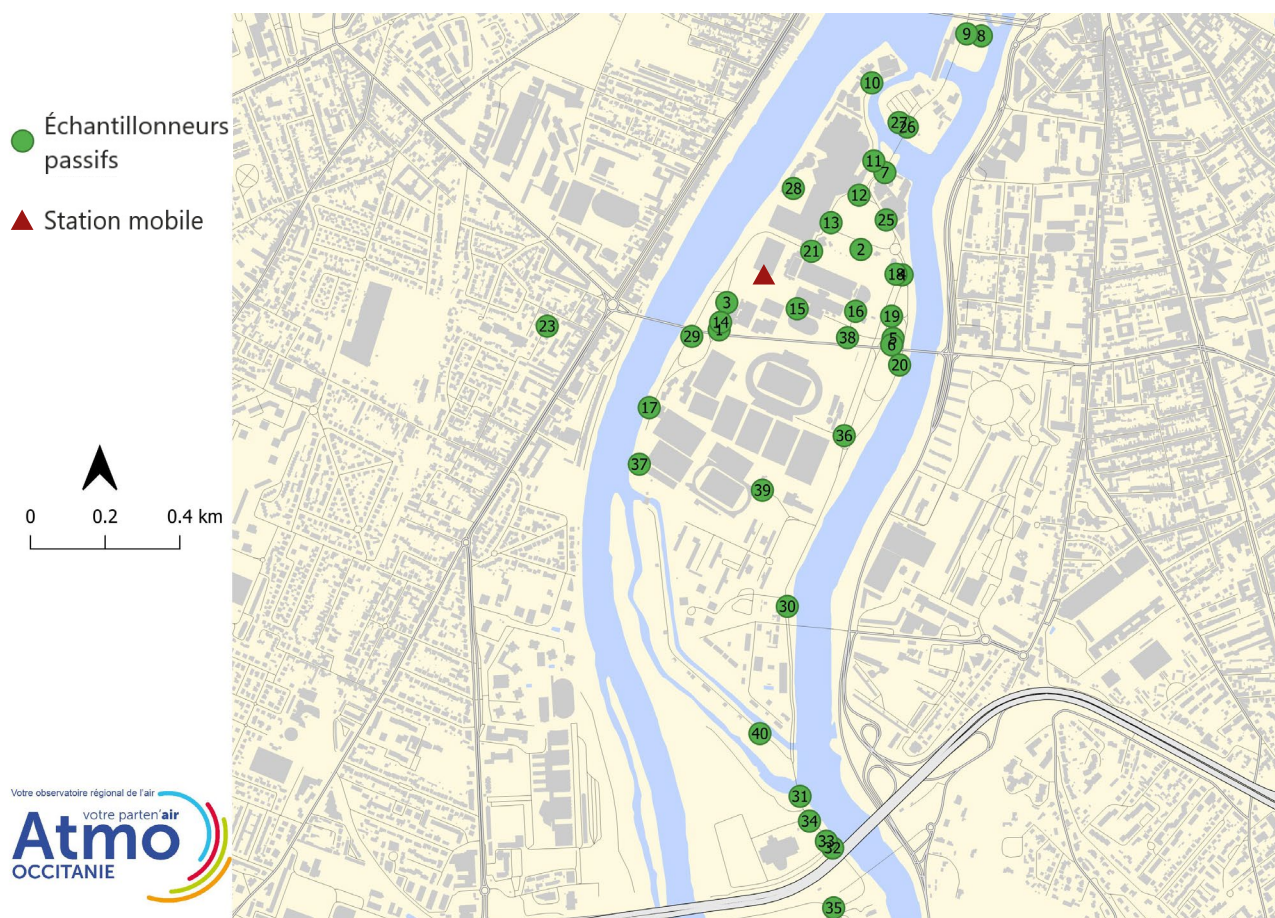
La station mobile a été installée sur l'un des parkings de l'ancien Parc des expositions, à proximité de la limite Est de la piscine municipale Nakache. Proche du pont Pierre de Coubertin, dans le prolongement du Boulevard des Récollets, et suffisamment éloignée de la voirie pour que les valeurs relevées ne soient pas influencées directement par le trafic. Les mesures se sont déroulées du 21 juillet au 26 août 2020 pour la campagne estivale et du 13 janvier au 25 février 2021 pour la campagne hivernale. Cette station est représentative de la qualité de l'air du périmètre nord de l'Île du Ramier, en situation de fond urbain.

La station mobile a été équipée d'analyseurs permettant la mesure des polluants suivants :

- dioxyde d'azote (NO₂) ;
- particules de diamètre inférieur à 10 micromètres (PM₁₀) ;
- particules de diamètre inférieur à 2,5 micromètres (PM_{2,5}) ;
- ozone (O₃).

Localisation géographique des échantillonneurs passifs et de la station mobile

La cartographie ci-dessous permet de localiser la position de chaque site de mesure échantillonné durant la campagne. La station mobile est également représentée, positionnée sur une zone de stationnement de l'ancien Parc des expositions.



La correspondance entre position des échantillons et numéro identifiant est précisée dans le tableau suivant :

Nom	Latitude (Y)	Longitude(X)	Adresse
1	43.584551	1.431865	8 Allée Fernand Jourdant 31400 Toulouse
2	43.586554	1.436513	3 Esplanade Georges Vallerey 31400 Toulouse
3	43.585211	1.432101	8 Allée Fernand Jourdant 31400 Toulouse
4	43.585962	1.437896	11 Allée Gabriel Biénès 31400 Toulouse
5	43.58443	1.437635	7 Allée Gabriel Biénès 31400 Toulouse
6	43.58427	1.437594	7 Allée Gabriel Biénès 31400 Toulouse
7	43.588419	1.437256	2 Allée du Professeur Camille Soula 31400 Toulouse
8	43.591757	1.440366	18 Avenue du Grand Ramier 31400 Toulouse
9	43.591799	1.43988	18 Avenue du Grand Ramier 31400 Toulouse
10	43.590573	1.436765	21 Allée Alfred Mayssonnie 31400 Toulouse
11	43.588694	1.436882	2 Allée du Professeur Camille Soula 31400 Toulouse
12	43.587862	1.436413	2 Allée du Professeur Camille Soula 31400 Toulouse
13	43.587185	1.435503	7 Esplanade Georges Vallerey 31400 Toulouse
14	43.584733	1.431907	8 Allée Fernand Jourdant 31400 Toulouse
15	43.585096	1.434438	Parc Toulousain 31400 Toulouse
16	43.585063	1.436377	7 Allée Gabriel Biénès 31400 Toulouse
17	43.582643	1.429597	4 Allée Fernand Jourdant 31400 Toulouse
18	43.585976	1.437691	11 Allée Gabriel Biénès 31400 Toulouse
19	43.584962	1.437572	7 Allée Gabriel Biénès 31400 Toulouse
20	43.583791	1.437871	5 Allée Gabriel Biénès 31400 Toulouse
21	43.586488	1.434877	Parc Toulousain 31400 Toulouse
22	43.587363	1.444004	62 Rue Achille Viadieu 31400 Toulouse
23	43.584558	1.426161	3 Rue Pierre Bourthoumieux 31300 Toulouse
24	43.575703	1.418067	7 Rue du Poitou 31100 Toulouse
25	43.587278	1.437329	1 Esplanade Georges Vallerey 31400 Toulouse
26	43.589526	1.437969	6 Avenue du Grand Ramier 31400 Toulouse
27	43.589629	1.437693	3 Avenue du Grand Ramier 31400 Toulouse
28	43.587993	1.434232	7 Esplanade Georges Vallerey 31400 Toulouse
29	43.58438	1.430961	8 Allée Fernand Jourdant 31400 Toulouse
30	43.577922	1.434306	1 Chemin de la Loge 31400 Toulouse
31	43.573353	1.434853	18 Chemin de la Loge 31400 Toulouse
32	43.572125	1.435968	18 Chemin de la Loge 31400 Toulouse
33	43.572284	1.435755	18 Chemin de la Loge 31400 Toulouse
34	43.57276	1.435181	18 Chemin de la Loge 31400 Toulouse
35	43.570682	1.436041	19 Chemin de la Loge 31400 Toulouse
36	43.582061	1.43608	1 Allée Gabriel Biénès 31400 Toulouse
37	43.581276	1.429306	4 bis Allée Fernand Jourdant 31400 Toulouse
38	43.584424	1.436125	7 Allée Gabriel Biénès 31400 Toulouse
39	43.580708	1.433404	11 Allée du Professeur Camille Soula 31400 Toulouse
40	43.574846	1.433481	13 Chemin de la Loge 31400 Toulouse
41	43.585513	1.433461	Parc Toulousain 31400 Toulouse

Détails des concentrations par polluants et par échantillonneurs passifs :

Le tableau suivant présente les résultats des mesures de concentrations brutes (non redressées) en benzène et en NO₂ par tubes passifs, redressés sur les deux campagnes et sur l'année à partir des mesures du dispositif permanent d'Atmo Occitanie.

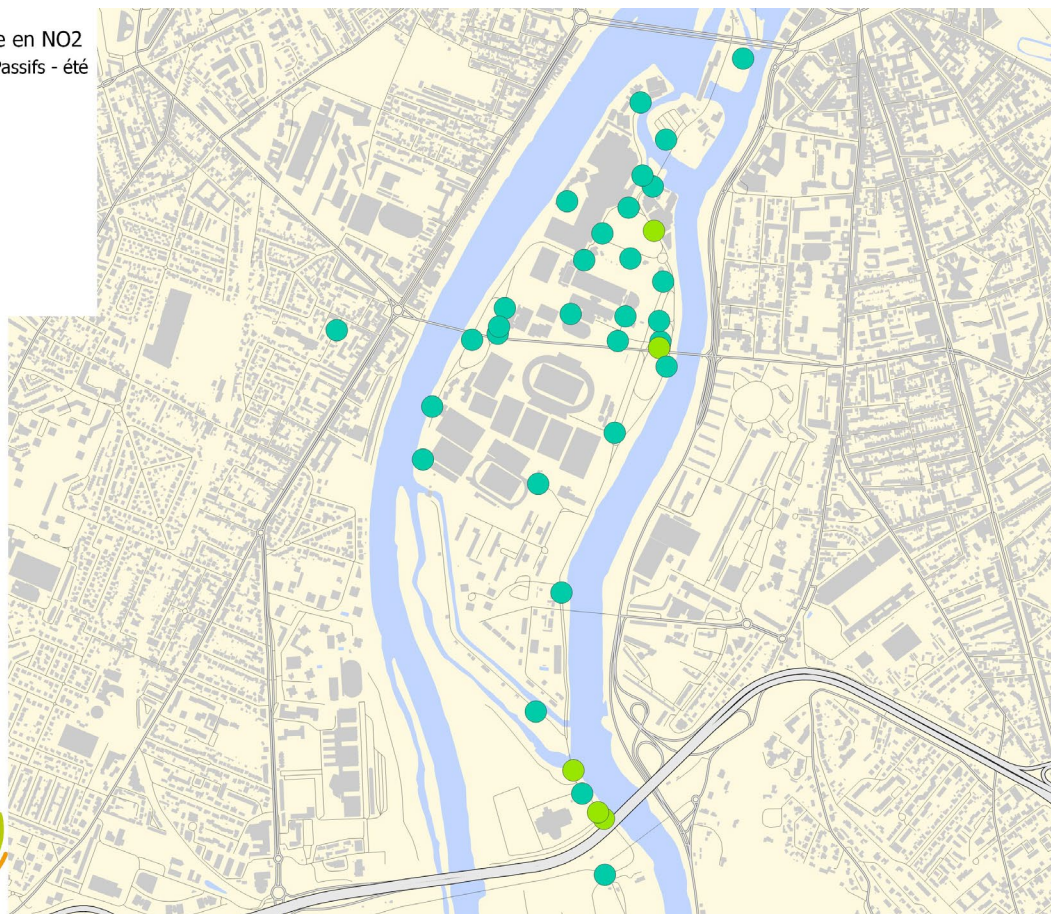
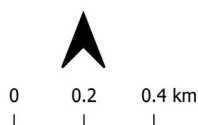
Nom	Concentrations en µg/m ³			
	NO ₂ , été 2020	NO ₂ , hiver 2021	NO ₂ , année	Benzène, été 2020
1	10	19	15	0,5
2	10	13	11	
3	10	ND	10	
4	ND	16	16	
5	15	29	22	
6	17	22	19	
7	13	17	15	
8	8	16	12	
9	ND	16	16	
10	11	14	13	
11	14	16	15	
12	10	16	13	
13	9	14	12	
14	11	18	15	
15	7	15	11	
16	9	15	13	
17	10	15	13	
18	9	15	12	
19	6	18	12	
20	8	18	13	
21	8	15	12	
23	9	16	13	
25	19	21	19	
26	ND	12	12	
27	11	13	13	
28	6	14	12	
29	7	16	12	
30	15	20	17	
31	16	17	16	
32	21	23	22	0,4
33	18	23	20	
34	15	18	16	
35	14	15	15	
36	9	15	12	
37	8	13	11	
38	9	16	12	
39	7	14	11	
40	11	15	13	
41	10	19	15	

ND : Non déterminé, pour cause de perte ou d'invalidation

Cartographie des concentrations pour la saison estivale (23 juillet – 20 août 2020)

Concentration moyenne en NO₂
(µg/m³) Echantillonneurs Passifs - été

- > 80
- 40 - 80
- 32 - 40
- 24 - 32
- 16 - 24
- 0 - 16



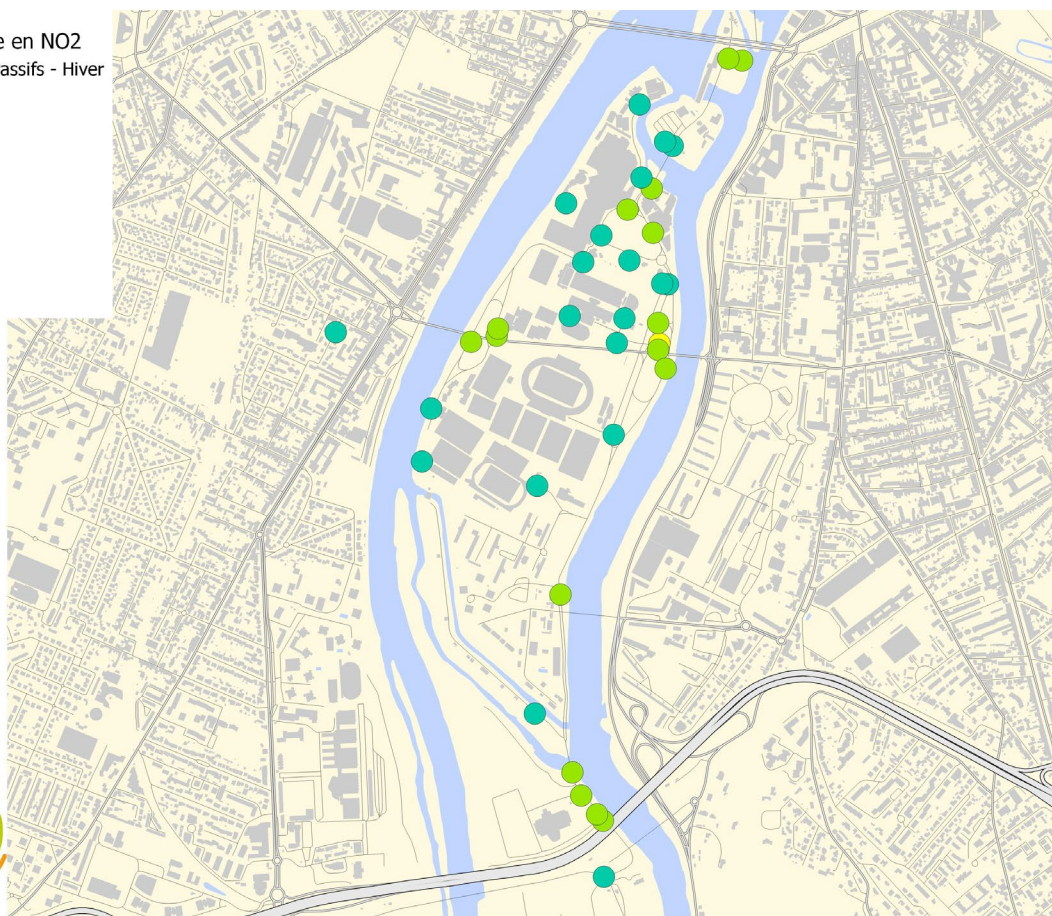
Le seuil réglementaire des 40 µg/m³ est bien respecté sur l'ensemble de la zone d'étude pour les 28 jours de prélèvement de l'été 2020.

Les valeurs les plus élevées sont relevées aux environs de l'A620 sur les sites (sites 31, 32, 33 et 34), près du boulevard des Récollets (site 6) et en un point situé plus au Nord près de l'Institut de mécanique des fluides (site 25). Le maximum relevé sur ces sites est de 21 µg/m³ ce qui est près de deux fois inférieur à la valeur limite.

Cartographie des concentrations pour la saison hivernale (21 janvier – 17 février 2021)

Concentration moyenne en NO₂
(µg/m³) Echantillonneurs Passifs - Hiver

- > 80
- 40 - 80
- 32 - 40
- 24 - 32
- 16 - 24
- 0 - 16



Le seuil réglementaire des 40 µg/m³ est également respecté sur tous les points de mesure pour les 27 jours de prélèvement de l'hiver 2021.

Les valeurs relevées sont plus élevées en été, ce qui est en accord avec la tendance dégagée par les mesures (en parallèle) de la station mobile.

Les points présentant les concentrations les plus élevées sont situés aux abords d'axes routiers et près de l'Institut de mécanique des fluides situé allée Camille Soula. Les mesures fournies par les tubes restent partout inférieures à 24 µg/m³ sauf en un point (29 µg/m³) situé près du pont Pierre de Coubertin au niveau de l'entrée de l'esplanade George Séguy, à l'Est de la zone étudiée.

ANNEXE 2 : Généralités sur les polluant étudiés

Le dioxyde d'azote - NO₂

Sources

Le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂) sont émis lors de la combustion incomplète des combustibles fossiles. Au contact des oxydants présents dans l'air, comme l'oxygène et l'ozone, le NO se transforme rapidement en NO₂.

Le NO₂ est un gaz irritant pour les bronches. Le NO₂ participe aux phénomènes des pluies acides, à la formation de l'ozone troposphérique, à l'atteinte de la couche d'ozone stratosphérique et à l'effet de serre.

Les principales sources sont les véhicules et les installations de combustion (centrales thermiques, chauffage...). Le NO₂ est également présent à l'intérieur des locaux où fonctionnent des appareils au gaz tels que gazinières, chauffe-eau au gaz.

Le pot catalytique a permis, depuis 1993, une diminution des émissions des véhicules à essence. Néanmoins, l'effet reste encore peu perceptible compte tenu de l'âge moyen des véhicules et de l'augmentation forte du trafic automobile.

Des études montrent qu'une fois sur 2 les européens prennent leur voiture pour faire moins de 3 km, une fois sur 4 pour faire moins de 1 km et une fois sur 8 pour faire moins de 500 mètres ; or le pot catalytique n'a une action sur les émissions qu'à partir de 10 km.

Effets sur la santé

Le dioxyde d'azote est un gaz irritant qui pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Dès que sa concentration atteint 200 µg/m³, il peut entraîner une altération de la fonction respiratoire, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant.

Effets sur l'environnement

Les oxydes d'azote participent aux phénomènes des pluies acides, à la formation de l'ozone troposphérique, dont ils sont l'un des précurseurs, à l'atteinte de la couche d'ozone stratosphérique et à l'effet de serre.

Les particules de type PM₁₀ et PM_{2.5}

Sources

Les particules, notées PM pour « particulate matter » soit « matière particulaire » en français, peuvent être d'origine naturelle (embruns océaniques, éruption volcaniques, feux de forêt, érosion éolienne des sols, pollens...) ou anthropique (liées à l'activité humaine). Dans ce cas, elles sont issues majoritairement de la combustion incomplète des combustibles fossiles (circulation automobile, centrale thermique, sidérurgie, cimenteries, incinération de déchets, manutention de produits pondéraux, minerais et matériaux...).

Une partie d'entre elles, les particules secondaires, se forme dans l'air par réaction chimique à partir de polluants précurseurs comme les oxydes de soufre, les oxydes d'azote, l'ammoniac et les COV. On distingue les particules de diamètre inférieur à 10 micromètres (PM₁₀), à 2,5 micromètres (PM_{2.5}) et à 1 micromètre (PM₁).

Effets sur la santé

Plus une particule est fine, plus sa toxicité potentielle est élevée.

Les plus grosses particules sont retenues par les voies aériennes supérieures. Les plus fines pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire où elles peuvent provoquer une inflammation et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Les particules ultra fines sont suspectées de provoquer également des effets cardio-vasculaires. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes : c'est notamment le cas de certaines particules émises par les moteurs diesel qui véhiculent certains hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Une corrélation a été établie entre les niveaux élevés de PM_{10} et l'augmentation des admissions dans les hôpitaux et des décès, liés à des pathologies respiratoires et cardio-vasculaires.

Ces particules sont quantifiées en masse mais leur nombre peut varier fortement en fonction de leur taille.

Effets sur l'environnement

Les effets de salissures des bâtiments et des monuments sont les atteintes à l'environnement les plus évidentes.

Le benzène - C_6H_6

Sources

La contamination de l'air extérieur résulte des émissions du secteur résidentiel et tertiaire – chauffage au bois notamment – du trafic routier et de certaines industries telles que la pétrochimie.

Dans les lieux clos, la présence de benzène résulte, quant à elle, à la fois des sources intérieures et du transfert de la pollution atmosphérique extérieure. Les principales sources intérieures identifiées sont les combustions domestiques et le tabagisme mais on ne peut exclure, dans certaines situations, une contribution des produits de construction, de décoration, d'ameublement ainsi que d'entretien ou de bricolage (diluants, solvants...).

Effets sur la santé

Le benzène est un Hydrocarbure Aromatique Monocyclique dont les propriétés cancérigènes sont connues depuis longtemps. Le Centre International de Recherche sur le Cancer (C.I.R.C.) a classé le benzène cancérigène certain pour l'homme (groupe 1) sur la base d'excès de leucémies observés lors d'expositions professionnelles. Ce composé est également classé cancérigène de catégorie 1 par l'Union européenne et par l'Agence américaine de l'environnement (U.S.-E.P.A.). À ce titre, il est soumis à d'importantes restrictions d'usage.

ANNEXE 3 : Mesures par échantillonneurs passifs

Principe général de mesure

Ces méthodes de mesure ont été validées par le laboratoire européen ERLAP (European Reference Laboratory of Air Pollution) et par le groupe de travail national ad hoc (« Échantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote » ; ADEME/L.C.S.Q.A./Fédération Atmo ; 2002).

Le principe général de l'échantillonneur passif consiste en un capteur contenant un adsorbant ou un absorbant adapté au piégeage spécifique d'un polluant gazeux. Le polluant gazeux est transporté par diffusion moléculaire à travers la colonne d'air formée par le tube jusqu'à la zone de piégeage où il est retenu et accumulé sous la forme d'un ou plusieurs produits d'adsorption/d'absorption. Dans la pratique, l'échantillonneur est exposé dans l'air ambiant, puis ramené au laboratoire où l'on procède ensuite à l'extraction et à l'analyse des produits d'adsorption/d'absorption.

Limites

- Cette technique ne convient pas pour les échantillonnages de courte durée, sauf pour les concentrations élevées de polluants. Des erreurs sont possibles lors de fluctuations rapides de concentration (par exemple lors de pics de pollution). C'est pourquoi la quasi-totalité des tubes étudiés a été placée dans des situations dites « urbaines », à savoir à une certaine distance (quantifiée) des voies de plus fort trafic.
- L'incertitude liée à cette technique, qui peut être importante, n'est pas quantifiable de manière simple. Compte tenu de cette incertitude, il est primordial de ne pas ensuite attribuer aux interprétations et cartographies produites davantage de précision que cette technique ne le permet.
- Un certain nombre de paramètres météorologiques a une influence, non seulement sur la teneur en polluant (exemples simples : la pluie lave l'atmosphère, un vent fort disperse les polluants...), mais également sur la mesure par échantillonneurs passifs : ces derniers sont dépendants de la vitesse du vent et, dans une moindre mesure, de la température et de l'humidité de l'air. Il est donc essentiel de bien connaître les principaux paramètres météorologiques, quinzaine par quinzaine.

Représentativité temporelle

Définir la représentativité d'une campagne consiste à définir dans quelles conditions (temporelles, spatiales et météorologiques), on peut considérer que les concentrations mesurées sont scientifiquement valides et comparables aux valeurs réglementaires, d'une part et à d'autres campagnes de mesure, d'autre part.

Dans le cadre de mesures indicatives, les Directives Européennes demandent une couverture minimale de 14 % du temps (soit 8 semaines pour une année). Ainsi, dans le cas d'une étude par échantillonneurs passifs, et compte tenu des capteurs utilisés, Atmo Occitanie choisit fréquemment de travailler :

- soit pendant deux saisons contrastées ;
- soit pendant toutes les saisons et, à chacune de ces saisons, de procéder à des mesures pendant au moins 1 mois.

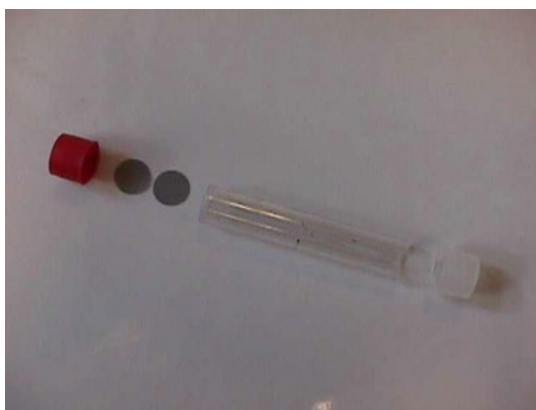
Dans cette étude, la couverture temporelle représente 15 % de l'année et remplit les critères de mesures indicatives des directives européennes. Les conditions météorologiques rencontrées lors des deux campagnes de mesures (cf. annexe 6) se sont approchées des conditions moyennes.

Atmo Occitanie considère dès lors cette campagne bien représentative de la situation annuelle. De plus, une adaptation statistique a permis de tenir compte des aléas climatiques qui ont lieu au cours des différentes saisons.

Tubes passifs pour le NO₂

Dans le cas du NO₂, ce polluant est piégé par absorption dans une solution de triéthanolamine.

Cet analyseur se présente sous la forme d'un petit tube de dimensions calibrées, à l'extrémité duquel sont placées deux grilles imprégnées d'une substance ayant la propriété de fixer le dioxyde d'azote.



Le tube est placé verticalement sur un support, l'extrémité inférieure du tube étant ouverte. Le support du tube est placé dans une boîte ouverte (voir photographie ci-dessous), afin de le protéger des intempéries et de limiter l'influence du vent. L'air circule dans le tube selon la loi de diffusion de Fick. Le tube est exposé durant 14 à 28 jours.

Après cette période d'exposition, le dioxyde d'azote est analysé a posteriori par un dosage colorimétrique qui permet de connaître la concentration du NO₂ dans l'air ambiant. La préparation, la pose, le ramassage puis l'analyse des tubes sont réalisés par Atmo Occitanie.

La technique de mesure déployée est adaptée à l'estimation de concentrations moyennes sur de multiples points. Il s'agit donc des moyens de mesure intégrée, par prélèvement passif d'air (tube à diffusion) et analyse a posteriori.

Polluants	Dioxyde d'azote NO ₂
Limite de quantification	2,8 µg/m ³
Incertitude sur l'analyse ¹	32 %
Taux de reproductibilité des doublons	98 %

Pour évaluer la reproductibilité de la mesure du dioxyde d'azote au cours de la campagne de mesure, les prélèvements sur certains points ont été réalisés avec 2 ou 3 tubes en parallèle.

La différence observée entre les doublons est faible, de l'ordre de 2 % en moyenne sur l'ensemble. La reproductibilité de la mesure est validée pour l'ensemble des échantillons.

¹ L'incertitude est donnée par l'incertitude sur la masse piégée dans le tube à diffusion, déterminée lors de l'analyse.

ANNEXE 4 : Notes méthodologiques

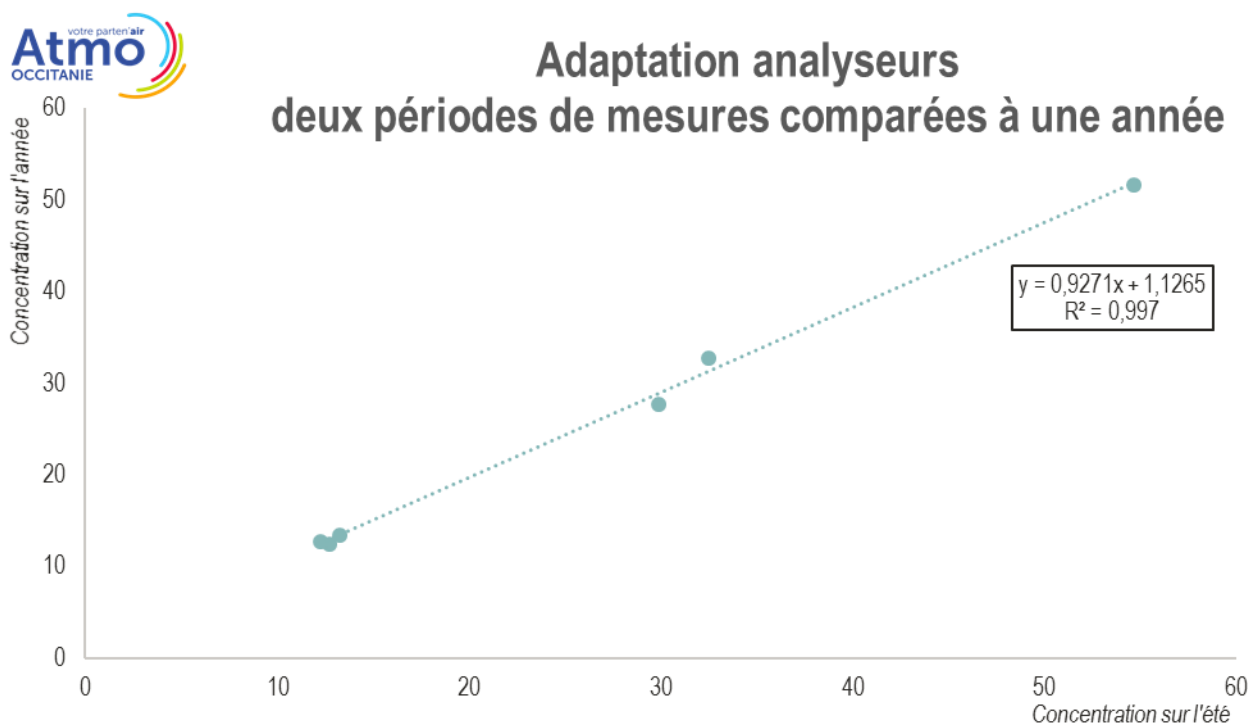
Méthodologie de l'adaptation statistique des mesures par échantillonneurs passifs

Les mesures des échantillonneurs passifs sont statistiquement corrigées par une équation de type linéaire. Cette équation correspond à la droite de tendance des « moyennes pendant les deux périodes de campagne » sur les « moyennes annuelles » calculée à partir des mesures du réseau de stations fixes d'Atmo Occitanie.

Pour pouvoir comparer les moyennes obtenues par les échantillonneurs passifs aux normes annuelles correspondantes, il est essentiel de vérifier a posteriori l'hypothèse de la bonne représentativité d'une année entière, des mesures effectuées lors de la campagne.

Pour cela, les concentrations moyennes enregistrées pendant la campagne de mesures des analyseurs automatiques de NO₂ sur l'agglomération toulousaine ont été comparées aux moyennes annuelles. Seul les analyseurs dont le taux de fonctionnement sur l'année est supérieur à 95 % ont été sélectionnés.

Le graphique ci-dessous présente les concentrations mesurées pour une année courant du 26 février 2020 au 25 février 2021, en fonction de celles enregistrées lors des deux campagnes de mesures.

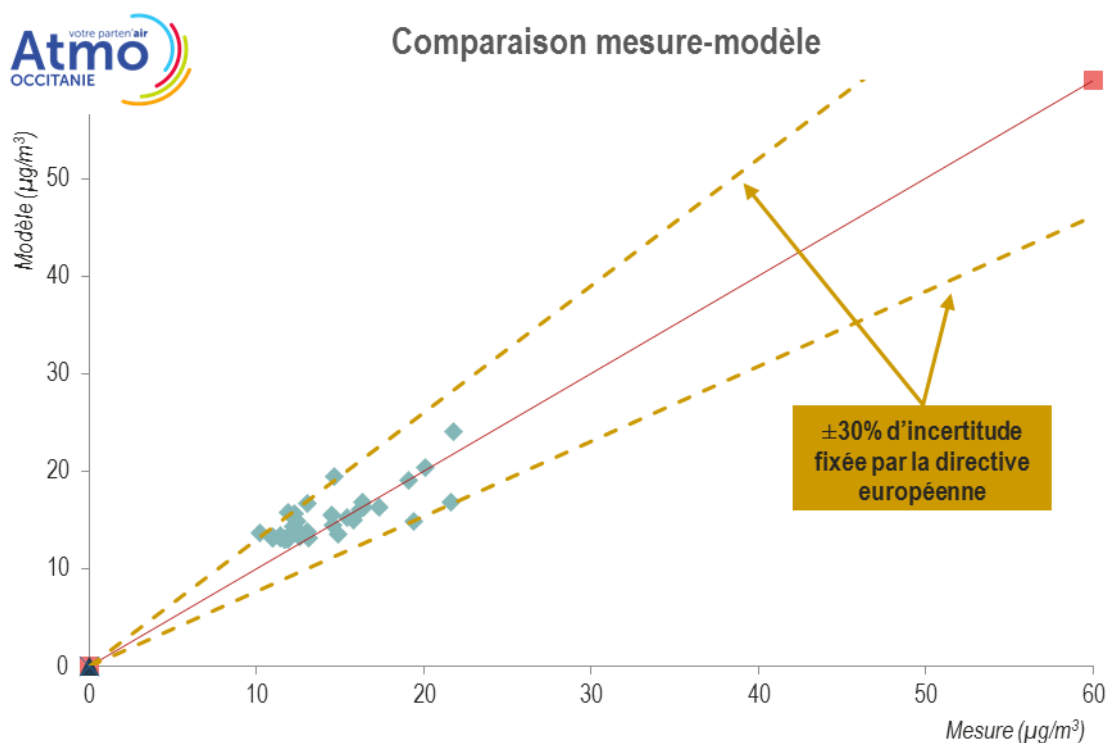


On fait l'hypothèse que la relation entre les concentrations suit une droite affine. L'équation obtenue est de la forme $y = 0,9271x + 1,1265$ de telle manière que :

$$[\text{Moyenne annuelle}] = [\text{Moyenne deux périodes de mesure}] \times 0,9271 + 1,1265$$

ANNEXE 5 : Méthodologie de validation du modèle

Un modèle performant



Les critères statistiques utilisés pour valider le modèle ont été choisis en tenant compte des recommandations du faites par J.C. Chang et S. R. Hanna dans leurs mesures de la performance de modèles de qualité de l'air².

Dans le tableau ci-après, nous indiquons les performances statistiques du modèle relativement aux concentrations moyennes annuelles en NO_2 modélisées et observées sur le domaine d'études.

Indicateurs statistiques	Modèle 41 observations	Caractéristiques d'un modèle performant
FB	-0,07	$-0,3 < \text{FB} < 0,3$
MG	0,93	$-0,7 < \text{MG} < 1,3$
NMSE	0,14	$\text{NMSE} < = 2$
VG	1,02	$\text{VG} < 1,6$
FAC2	1,00	$\text{FAC2} > 0,5$

Les valeurs proches de 0 du biais fractionnel (FB) indiquent qu'en moyenne, le modèle tend à bien estimer les valeurs observées. Le tracé mesure-modèle indique une légère surestimation des concentrations modélisées dans les plus faibles concentrations et une sous-estimation des concentrations modérées.

² J.C Chang and S. R Hanna : Air quality model performance evaluation, Meteorology and Atmospheric Physics 87, 167–196 (2004)

NMSE permet de juger de l'erreur relative commise par le modèle. Plus NMSE est faible, plus les concentrations simulées par le modèle sont proches des observations. Le NMSE obtenu pour le modèle est correct.

L'indicateur logarithmique VG est autant sensible aux valeurs fortes qu'aux valeurs faibles. Proche de 1, l'écart entre mesure et observation est assez faible.

FAC2 renseigne sur la proportion des valeurs simulées à moins d'un facteur 2 des observations. 100% des valeurs simulées sont ainsi à moins d'un facteur 2 des observations.

La corrélation mesure la capacité du modèle à reproduire les variations temporelles des observations. Dans le cas du modèle ADMS, **88 %** des concentrations modélisées sont corrélées avec les mesures.

La directive européenne 2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe fixe des objectifs de qualité pour les concentrations modélisées.

Pour le NO₂, l'erreur sur la moyenne annuelle doit être inférieure à ±30 % sur les sites de fond (sites en bleu sur le graphe). Cette incertitude est représentée par les lignes dorées sur le graphe.

L'erreur sur la moyenne annuelle est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Erreur} = \frac{(\text{modèle} - \text{mesure})}{\text{mesure}}$$

Pour les sites de fond, les erreurs sur la moyenne annuelle obtenues en NO₂ sont inférieures à 30% excepté pour les sites de fond péri-urbains dont les niveaux de concentration sont inférieurs aux niveaux de fond urbains. Pour ces sites, les concentrations modélisées sont surestimées en comparaison des concentrations mesurées.

Les critères de performance trouvés dans la littérature sont atteints pour le modèle utilisé lequel peut être considéré comme relativement performant.

Les concentrations sont donc correctement modélisées.

Principe de la méthode

Afin de vérifier la validité des résultats obtenus par la modélisation, nous avons utilisé des paramètres statistiques permettant de comparer les résultats de la modélisation aux résultats fournis par les échantillonneurs passifs.

Il existe dans la littérature de nombreux indicateurs ou outils de performance statistiques afin d'évaluer quantitativement la qualité d'un modèle de dispersion atmosphérique.

Le guide « evaluating the performance of Air Quality Models -3 juin 2010 » du department for environment, food & Rural Affairs of United Kingdom recommande une certaine simplification et rationalisation en adoptant un nombre limité d'indicateurs statistiques.

Les indicateurs statistiques ont été choisis en suivant les recommandations faites par Chang et Hanna dans leurs mesures de la performance de modèles de qualité de l'air.

Les performances des deux modèles sont évalués par les indicateurs statistiques suivants (formule indiquée ci-après) :

- le biais fractionnel (fractional bias) FB ;
- le biais moyen géométrique (MG) ;
- l'erreur quadratique normalisée (« normalized mean square error ») NMSE ;
- la variance géométrique (VG) ;
- le coefficient de corrélation Corr ;
- la fraction de prédiction comprise dans un facteur 2 FAC2.

Un modèle parfait aurait MG, VG, R et FAC2 =1; et FB et NMSE = 0.

Notons que, d'après les conventions utilisées, les valeurs de FB sont négatives en cas de surestimation, et positives en cas de sous-estimation des valeurs.

Des critères de performances acceptables ont été développés dans Chang et Hanna [2004] et Hanna et al [2004] à partir de l'évaluation de nombreux modèles sur un grand nombre d'expériences.

Un modèle est considéré comme acceptable si :

$$\begin{aligned} -0.3 < \text{FB} < 0.3; \\ 0.7 < \text{MG} < 1.3 \\ \text{NMSE} < 0.5, \\ \text{VG} < 0.6 \\ 0.5 < \text{FAC2} \end{aligned}$$

Présentation des indicateurs statistiques utilisés

On utilise les notations suivantes :

Co : observation au temps i

Cp : valeur modélisée au temps i

N : nombre de couples de valeurs

Les termes surmontés d'un trait désignent la moyenne temporelle de la grandeur indiquée.

Les différents paramètres présentés ici permettent de quantifier trois types d'erreur :

- l'erreur systématique, qui détermine si le modèle a tendance à sous-estimer ou surestimer globalement la réalité ;
- l'erreur locale, qui caractérise la « précision » des données du modèle (c'est à dire leur étalement autour de leur moyenne) ;
- l'erreur totale, qui caractérise la « justesse » globale des données du modèle par rapport à la réalité.

Il est intéressant lorsque l'on compare deux jeux de données de pouvoir estimer ces différents types d'erreur. Dans la suite, le type d'erreur que permet de quantifier chaque paramètre est indiqué.

FB : BIAIS FRACTIONNEL

$$FB = \frac{(\overline{C_o} - \overline{C_p})}{0.5 (\overline{C_o} + \overline{C_p})}$$

Signification : Le biais fractionnel est une normalisation de la valeur du biais. Ceci présente l'avantage de permettre la comparaison des valeurs de ce paramètre obtenues sur des échantillons différents. Ceci permet aussi de pouvoir interpréter la valeur du biais sans avoir à se référer aux données considérées : une même valeur de FB correspond à peu près au même type d'erreur quel que soit le cas étudié ou l'unité utilisée pour exprimer les grandeurs considérées.

Valeur recherchée : 0

Interprétation des valeurs : FB peut être positif ou négatif. Il est sans dimension. Si les valeurs observées et mesurées sont positives ou nulles (comme dans le cas de concentrations), FB est compris entre -2 et 2. Une valeur nulle indique que les données d'observations et les données modélisées ont la même moyenne. Le modèle est donc en mesure de bien restituer la valeur moyenne du paramètre considéré. Toutefois les écarts peuvent être ponctuellement ou systématiquement très importants : il suffit que les écarts positifs compensent les écarts négatifs.

Une valeur négative implique, qu'en moyenne, le modèle sous-estime la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus faible que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur supérieure à la mesure.

Une valeur positive implique qu'en moyenne, le modèle surestime globalement la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus forte que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur inférieure à la mesure.

Type d'erreur : systématique

NMSE : NORMALISED MEAN SQUARE ERROR

$$NMSE = \frac{(\overline{C_o} - \overline{C_p})^2}{\overline{C_o} \overline{C_p}}$$

Signification : ce terme qualifie l'erreur totale existant entre observation et mesure. Il est normalisé ce qui présente l'avantage de permettre la comparaison des valeurs de ce paramètre obtenu sur des échantillons différents. Ceci permet aussi de pouvoir interpréter la valeur du NMSE sans avoir à se référer aux données considérées : une même valeur de NMSE correspond à peu près au même type d'erreur quel que soit le cas étudié ou l'unité utilisée pour exprimer les grandeurs considérées.

Valeur recherchée : 0

Interprétation des valeurs : La NMSE est une grandeur positive ou nulle. Elle est sans dimension. Si elle est nulle, les valeurs du modèle sont toutes égales aux valeurs observées. Plus la NMSE est grande, plus l'écart entre mesure et observation est grand. La NMSE ne donne toutefois pas d'indication sur la distribution de cette erreur. Une grande valeur de NMSE peut correspondre soit à un biais fort, soit à un écart type des erreurs fort, soit aux deux à la fois.

Type d'erreur : totale

MG : GEOMETRIC MEAN BIAS

$$MG = \exp \left(\overline{\ln C_o} - \overline{\ln C_p} \right)$$

Signification : MG est l'exponentielle du biais calculé à partir des logarithmes népériens des valeurs d'observations et des valeurs modélisées. Il donne le même type d'information que la valeur du biais. Toutefois les propriétés du logarithme font que ce paramètre est influencé par l'écart relatif entre les valeurs et non pas par l'écart brut.

Concrètement, pour une même erreur relative, le biais est plus sensible à un écart sur des valeurs fortes que sur des valeurs faibles car la même erreur relative conduira alors à un écart plus grand. MG sera aussi sensible à l'un qu'à l'autre.

Valeur recherchée : 1

Interprétation des valeurs : MG est une grandeur strictement positive. C'est un nombre sans dimension. Une valeur égale à 1 indique que les données d'observations et les données modélisées ont la même moyenne. Le modèle est donc en mesure de bien restituer la valeur moyenne du paramètre considéré. Toutefois les écarts peuvent être ponctuellement ou systématiquement très importants : il suffit que les écarts positifs compensent les écarts négatifs.

Une valeur supérieure 1 implique qu'en moyenne, le modèle sous-estime la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus faible que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur supérieure à la mesure.

Une valeur inférieure à 1 implique, qu'en moyenne, le modèle surestime globalement la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus forte que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur inférieure à la mesure.

Type d'erreur : systématique

VG : GEOMETRIC MEAN VARIANCE

$$VG = \exp \left[\overline{(\ln C_o - \ln C_p)^2} \right]$$

Signification : VG est l'exponentielle du carré du RMSE calculé à partir des logarithmes népériens des valeurs d'observations et des valeurs modélisées. Il donne le même type d'information que la valeur du RMSE.

Toutefois les propriétés du logarithme font que ce paramètre est influencé par l'écart relatif entre les valeurs et non pas par l'écart brut. Concrètement, pour une même erreur relative, le RMSE est beaucoup plus sensible à un écart sur des valeurs fortes que sur des valeurs faibles car la même erreur relative conduira alors à un écart plus grand. VG sera aussi sensible à l'un qu'à l'autre.

Valeur recherchée : 1

Interprétation des valeurs : VG est une grandeur supérieure ou égale à 1. C'est un nombre sans dimension. Si elle est égale à 1, les valeurs du modèle sont toutes égales aux valeurs observées. Plus VG est grand, plus l'écart entre mesure et observation est grand. La VG ne donne toutefois pas d'indication sur la distribution de cette erreur. Une grande valeur de VG peut correspondre soit à un biais fort, soit à un écart type des erreurs fort, soit aux deux à la fois.

Type d'erreur : locale

FAC2 : FACTOR OF TWO

$$\text{FAC2} = \text{fraction of data that satisfy } 0.5 \leq \frac{C_p}{C_o} \leq 2.0$$

Signification : Le FAC2 représente la fraction des données simulées qui sont en accord avec les données mesurées à un facteur 2 près.

Valeur recherchée : 1

Interprétation des valeurs : FAC2 est une grandeur comprise entre 0 et 1. Il est sans dimension. Une valeur nulle indique qu'aucune des données modélisées ne se trouve dans l'intervalle cité plus haut. Une valeur égale à 1 implique que les inégalités citées plus haut sont vérifiées pour chacune des valeurs simulées. Elle ne garantit pas une adéquation parfaite entre mesure et observation.

Type d'erreur : totale

ANNEXE 6 : Conditions météorologiques de l'étude

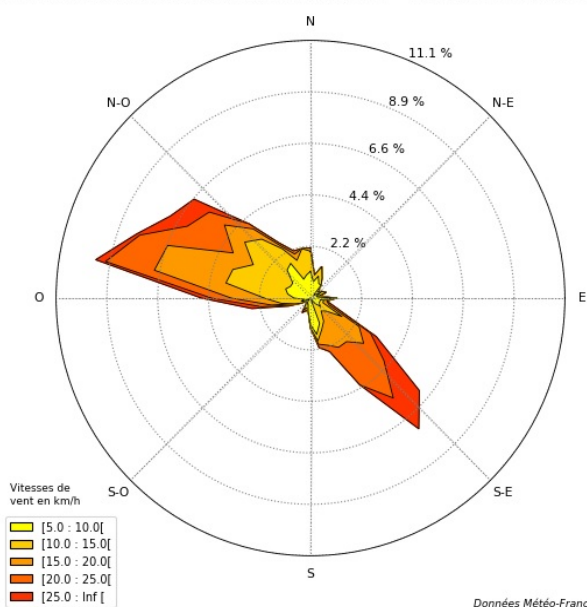
Les deux campagnes de mesures de cette étude se sont déroulées sur deux années civiles différentes. Afin de pouvoir offrir une comparaison avec les seuils réglementaires qui concernent une année complète, nous avons retenu une période de 366 jours allant du 26 février 2020 au 25 février 2021.

Dans cette annexe nous allons comparer les conditions météorologiques moyennes des deux périodes de mesures avec celles rencontrées pour les 366 jours auxquels nous nous intéressons afin de juger de la représentativité de ces deux campagnes.

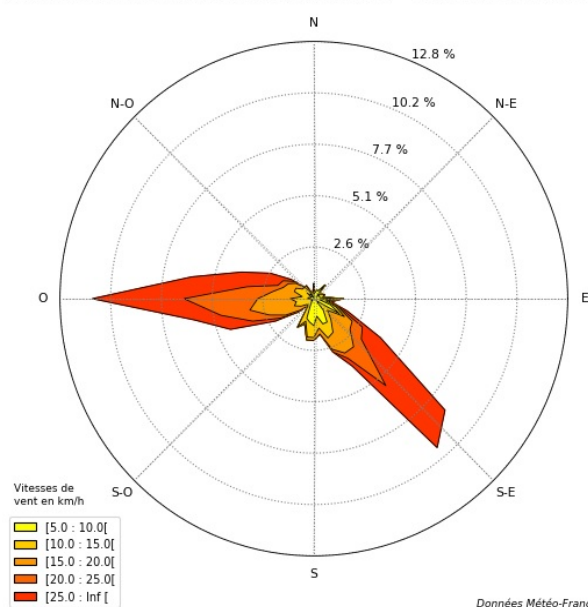
Des périodes de mesures offrant une vision représentative des conditions de vents sur une année.

Les roses des vents suivantes sont établies à partir de données horaires issues de la station Météo-France de Toulouse-Blagnac. Les vitesses de vents sont exprimées en km/h, et sont lues au niveau de l'échelle de couleur : jaune (<5 km/h) à rouge (>25 km/h).

Rose des vents du 23/7/2020 au 20/8/2020 - TOULOUSE-BLAGNAC



Rose des vents du 21/1/2021 au 17/2/2021 - TOULOUSE-BLAGNAC

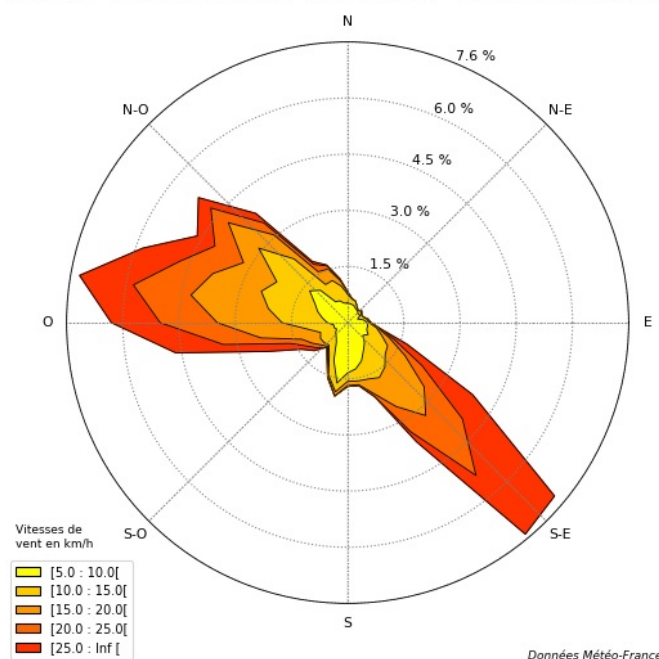


Roses des vents pour les deux périodes de mesures :
période estivale 2020 à gauche, période hivernale 2021 à droite

Nous remarquons sur ces roses que lors des deux périodes de mesures les vents dominants rencontrés sur l'agglomération toulousaine avaient des directions comparables. Les vents majoritaires proviennent du secteur ouest et du secteur sud-est.

La rose des vents couvrant la période 26 février 2020 – 25 février 2021, présentée ci-dessous, tend à montrer que les directions des vents ayant soufflé sur Toulouse tout au long de ces 366 jours étaient similaires à celles des vents de nos campagnes de mesures.

Rose des vents du 26/2/2020 au 25/2/2021 - TOULOUSE-BLAGNAC



Le tableau qui suit offre un résumé de cette comparaison :

Période considérée	Occurrence des vents de secteur ouest	Occurrence des vents de secteur sud-est
Été : 21 juillet – 26 août 2020	33 %	24 %
Hiver : 13 janvier – 25 février 2021	33 %	42 %
Moyenne deux campagnes	33 %	34 %
Année complète : 26 février 2020 – 25 février 2021	34 %	28 %

Lors des campagnes, les cumuls pluviométriques et les températures moyennes ont été conformes aux normales de saison et représentatifs d'une année.

Les campagnes été 2020 et hiver 2021 ont cumulé 57 jours de mesures, soit près de 16 % d'une année complète. Au cours de ces 57 jours, la station de Toulouse-Blagnac a mesuré 106 mm de précipitations (dont 15 jours de pluie) et une température moyenne de 14,4°C.

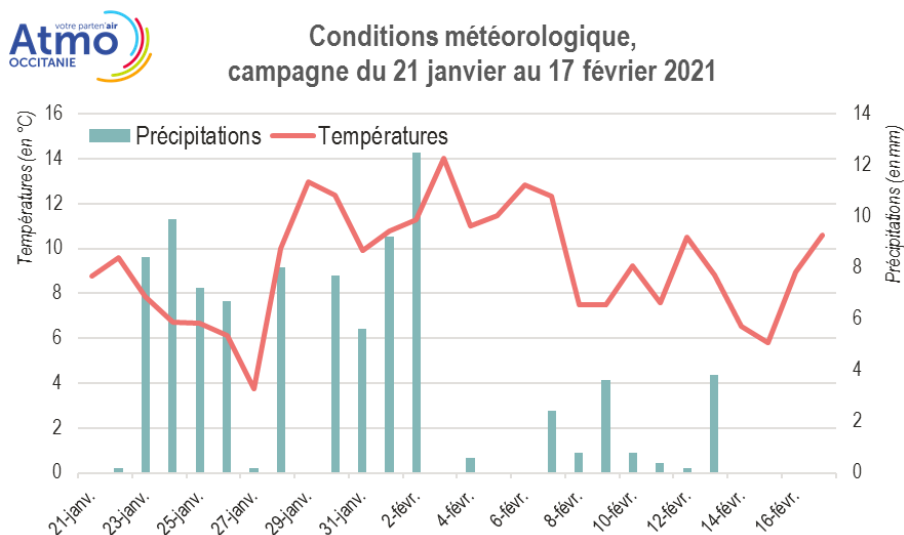
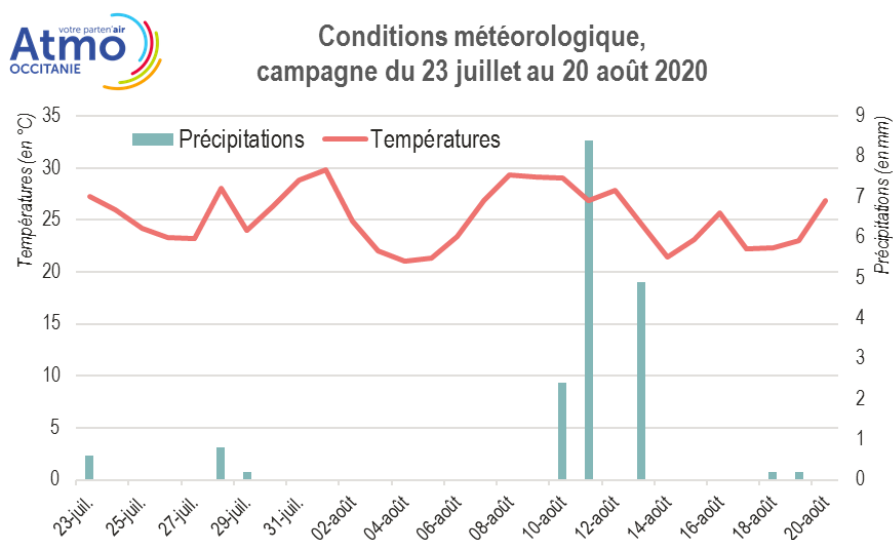
Si nous projetons ces valeurs sur une année complète, nous devrions obtenir un cumul de 680 mm de précipitations pour 96 jours de pluie. Les valeurs effectivement relevées par la station entre le 26 février 2020 et le 25 février 2021 sont proches : 657 mm de précipitations dont 96 jours de pluie. Soit 3% de différence. De même la température moyenne sur l'année s'est établie à 14,9°C.

Nos deux saisons de mesures ont rencontré des conditions météorologiques parfaitement

Période considérée	Cumul de précipitations (en mm)	Jours de pluie	Température moyenne (en °C)
Été : 21 juillet – 26 août 2020	18	3	25,3
Hiver : 13 janvier – 25 février 2021	88	12	3,2
Sur les deux campagnes	106	15	14,4
Projection sur l'année à partir des deux campagnes	680	96	-
Année complète mesurée : 26 février 2020 – 25 février 2021	657	94	14,9
Différence constatée	-3 %	-2 %	+3 %

représentatives d'une année complète.

Les profils des températures moyennes et des précipitations des deux périodes se présentent ainsi :





L'information sur la qualité de l'air en Occitanie

www.atmo-occitanie.org

Atmo
OCCITANIE
votre parten'air
Votre observatoire régional de l'air

Agence de Montpellier
(Siège social)
10 rue Louis Lépine
Parc de la Méditerranée
34470 PEROLS

Agence de Toulouse
10bis chemin des Capelles
31300 TOULOUSE

Tel : 09.69.36.89.53
(Numéro CRISTAL – Appel non surtaxé)

Crédit photo : Atmo Occitanie